

Material- und Produktrecycling – am Beispiel von Plattenbauten

Zusammenfassende Arbeit von 66 eigenen Veröffentlichungen

HABILITATIONSSCHRIFT

vorgelegt dem Fakultätsrat der Fakultät Umweltwissenschaften
und Verfahrenstechnik der Brandenburgischen Technischen
Universität Cottbus

von

Dr.-Ing. Angelika Mettke

Eröffnung des Habilitationsverfahrens: 22.04.2009

Beschluss des erweiterten Fakultätsrates: 13.10.2010

Gutachter: 1. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Spyra

2. Prof. Dr. rer. nat., habil. Ing., Dipl. Chem. Reinhard Frey

3. Assoc. Prof. Karol Grüner

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	0
1 Einleitung	7
1.1 Hintergrund und Motivation.....	7
1.2 Zielsetzung	9
1.3 Untersuchungsschwerpunkt, Abgrenzung, Struktur	11
2 Grundlagen	13
2.1 Begriffliche Klärungen	13
2.2 Einordnung des Produkt- und Materialrecyclings in die Kreislaufwirtschaft ...	15
2.3 Basisdaten zum Baubestand	20
3 Wohnungsleerstand – Rückbaukonzeptionen der Wohnungswirtschaft	23
3.1 Wohnungsleerstände in den neuen Bundesländern	23
3.2 Leerstandsursachen.....	30
3.3 Aufgaben der Städte und der Wohnungswirtschaft	32
3.4 Programm „Stadtumbau Ost“ – wesentliches Element zur Gestaltung schrumpfender Städte und Gemeinden.....	33
3.5 Strategien zur Leerstandsbekämpfung industriell errichteter Wohnbauten.....	35
3.6 Status der Umsetzung der Stadtumbauziele in Ostdeutschland und Perspektiven	39
4 Rückbau von Plattenbauten – Machbarkeit, Anforderungen, ausgewählte Ergebnisse	42
4.1 Einleitung und Grundsätzliches zum Rückbau.....	42
4.2 Begriffliche Klärung Rückbau	43
4.3 Konstruktive Merkmale der industriell errichteten Wohnbauten in den neuen Ländern	45
4.4 Gebäudekennzahlen	49
4.5 Generelles zur Planung und Ausführung von Rückbauvorhaben	50
4.6 Prinzipieller Demontageablauf	52

4.7	Anforderungen an den Rückbau / die Demontage der Rohbaukonstruktion....	54
4.8	Ausgewählte verfahrenstechnische und technologische Ergebnisse und die Einflüsse auf die Rückbau- und Entsorgungskosten	55
4.8.1	Wesentliche Einflussfaktoren auf die Rückbau- und Entsorgungskosten	55
4.8.2	Kraneinsatz	56
4.8.3	Demontage-/ Rückbauzeiten – Zeitmessungen zur Demontage von Betonelementen ..	59
4.8.4	Anschlagmöglichkeiten	62
4.8.5	Rückbau- und Entsorgungskosten.....	64
4.9	Verfahrenstechnische Auswirkungen der Demontage auf den Bauzustand der Betonelemente und Ableitung von präventiven Maßnahmen.....	69
4.9.1	Typische Beschädigungen infolge der Demontage	69
4.9.2	Präventive Maßnahmen zur Verminderung von Beschädigungen	73
4.10	Ökologische Bewertung des Prozesses Rückbau im Vergleich zum Abbruch	74
4.10.1	Einleitung	74
4.10.2	Screening des Energieaufwandes für den krangeführten Rückbau	75
4.10.3	Energieaufwand für den Abbruch	77
4.10.4	Emissionsbetrachtung	77
4.10.5	Vergleich der Rückbau- / Abbruchmethoden aus ökologischer Sicht	79
5	Schadstoffe in Plattenbauten und deren spezifische Entsorgung.....	83
5.1	Rechtliche Grundlagen	83
5.2	Asbest.....	84
5.2.1	Charakterisierung, Abbaumengen, gesundheitliche Auswirkungen, gesetzliche Einschränkungen	84
5.2.1.1	Stoffliche Merkmale, Eigenschaften.....	84
5.2.1.2	Förderung und Verarbeitung von Asbest – einige Zahlen und Fakten - zeitlicher Rückblick	85
5.2.1.3	Asbestprodukte	86
5.2.1.4	Gesundheitsgefährdung durch Asbest.....	86
5.2.1.5	Gesetzliche Einschränkungen zur Asbestproduktion	87
5.2.1.6	Asbesthaltige Materialien und Produkte in Plattenbauten – Sorten und Fundorte	87
5.2.1.7	Asbest-Analytik	89
5.2.2	Ausbau und Entsorgung von Asbest – Entsorgungsaufkommen, Anforderungen, Besonderheiten.....	90
5.2.2.1	Entsorgungsaufkommen an asbesthaltigen Abfällen.....	90
5.2.2.2	Anforderungen und Besonderheiten an den Ausbau, Umgang und die Entsorgung...	91
5.2.2.3	Immobilisierende Behandlung asbesthaltiger Abfälle	92
5.2.2.4	Diskussion zum Stand der Entsorgung asbesthaltiger Abfälle	103

5.3 Künstliche mineralische Fasern (KMF).....	104
5.3.1 Herstellung und Eigenschaften.....	105
5.3.2 Gesundheitliche Bewertung.....	106
5.3.3 Umgang und Entsorgung.....	108
5.3.4 Problemstellung: KMF-haltige Außenwände	110
5.3.5 Diskussion.....	113
5.4 Teerhaltige Baumaterialien	113
5.4.1 Stoffdaten, Merkmale, Gefährdungseinstufung	114
5.4.2 Analysemethoden	116
5.4.3 Anforderungen an den Ausbau und die umweltverträgliche Entsorgung von teerhaltigen Dachpappen.....	117
5.5 Resümee zum Stand der Entsorgung hauptsächlich verbauter schadstoffbelasteter Materialien in Plattenbauten	118
6 Qualitätsmerkmale gebrauchter Betonelemente	121
6.1 Untersuchtes Elementesortiment.....	121
6.2 Qualitätsmerkmale gebrauchter Betonelemente	123
6.2.1 Betontechnische Merkmale	123
6.2.1.1 Betondruckfestigkeitsklassen, Expositionsklassen.....	123
6.2.1.2 Expositionsklassen.....	126
6.2.1.3 Betondeckung, Karbonatisierung	131
6.2.1.4 Permeabilität, totale Porosität, Wassereindringtiefe	135
6.2.1.5 Widerstand gegen Frosteinwirkung mit und ohne Einwirkung von Taumitteln	135
6.2.2 Untersuchungen zur Tragfähigkeit.....	136
6.2.2.1 Bewertung der Deckenplatten aus Stahl- und Spannbeton.....	136
6.2.2.2 Ergebnisse der rechnerischen Nachweise.....	140
6.2.2.3 Ergebnisse der experimentellen Überprüfung des Tragverhaltens	142
6.2.2.4 Bewertung der Innenwände	153
6.2.2.5 Fazit.....	153
6.3 Bauphysikalische Merkmale	154
6.3.1 Schallschutz.....	154
6.3.2 Wärmeschutz	158
6.3.3 Brandschutz	161
7 Nachnutzungsmöglichkeiten gebrauchter Betonelemente aus Plattenbauten	167
7.1 Einleitung	167
7.2 Entscheidungsfindung zur Wieder- und / oder Weiterverwendungseignung	169

7.3	Konsequenzen für die Wiederverwendungseignung	171
7.4	Rechtliche Aspekte der Wieder- oder Weiterverwendung von gebrauchten Betonelementen	172
7.5	Einsatzbereiche zur Nachnutzung von gebrauchten Betonelementen – Fallbeispiele, Bewertung.....	175
7.6	Einsatz von gebrauchten Betonelementen im Deichbau – ein Beitrag zum Hochwasserschutz	181
7.6.1	Einleitung	181
7.6.2	Zur Verfügung stehendes und geeignetes Sortiment an RC-Betonelementen	182
7.6.3	Innovationsprojekt Versuchsdeich	187
7.6.3.1	Variante 1 - Oberflächendichtung	192
7.6.3.2	Variante 2 - Innendichtung	192
7.6.3.3	Variante 3 – Überlauf- / Überströmstrecken	193
7.6.3.4	Versuchsdurchführung, -ergebnisse	194
7.6.4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	196
7.6.5	Ökologische Relevanz des Einsatzes von gebrauchten Betonbauteilen im Deichbau ..	199
7.6.6	Fazit und Ausblick für die Nachnutzung von gebrauchten Betonelementen im Deichbau.....	208
7.7	Wiederverwendung von gebrauchten Betonelementen in Osteuropa.....	209
7.7.1	Wirtschaftliche Bewertung zum Bau von Wohnhäusern in Sankt Petersburg.....	210
7.7.2	Energetische Bewertung.....	215
7.8	Fazit, Ausblick.....	218
8	Wirtschaftliche und ökologische Bewertung des Betonbauteil- resp. Produktrecyclings	219
8.1	Ökonomische Bewertung der gewählten Szenarien	223
8.2	Ökologische Bewertung der gewählten Szenarien.....	231
8.2.1	Allgemeine Aspekte der Ökobilanzierung, Besonderheiten, Abgrenzung des Untersuchungsrahmens.....	231
8.2.2	Materialbilanz.....	233
8.2.3	Energetische Betrachtung	235
8.2.4	Emissionsbetrachtung	242
8.2.5	Untersuchungen zu Lärm-, Staubbelastungen und Erschütterungen bei Abbruch- und Rückbauarbeiten.....	247
8.3	Zusammenfassung und Diskussion der Szenarioergebnisse.....	251

9	Baustoff- / Materialrecycling.....	254
9.1	Anfallmengen, Verwertungs- und Recyclingquoten mineralischer Bau- und Abbruchabfälle	254
9.2	Überblick zur Anwendung / zu Einsatzgebieten von mineralischen Recycling-Baustoffen (RC-Baustoffen)	260
9.3	Rechtliche Rahmenbedingungen zum Einsatz von RC-Baustoffen.....	262
9.4	Anforderungen an die Verwertung mineralischer Bauabfälle und Darstellung des erreichten Standes.....	266
9.4.1	Bautechnische Anforderungen, Bewertung des anfallenden Bauschutts aus Plattenbauten.....	267
9.4.2	Umwelttechnische Anforderungen an den Einsatz von RC-Baustoffen, Bewertung des Bauschutts aus Plattenbauten	272
9.5	Die Verwendung von RC-Baustoffen zur Betonherstellung	288
9.5.1	Normative Grundlagen.....	289
9.5.2	Stand der Kenntnisse zum Recyclingbeton (RC-Beton)	292
9.5.2.1	Technische Merkmale rezyklierter Gesteinskörnungen aus Betonbruch und deren Auswirkungen auf die Verarbeitung und Herstellung von RC-Beton	292
9.5.2.2	Möglichkeiten zur Verbesserung der Eigenschaften von Rezyklaten durch Aufbereitung	293
9.5.2.3	Festbetoneigenschaften von RC-Betonen	297
9.5.2.4	Dauerhaftigkeit	299
9.5.3	Potenziale / Verfügbarkeit von Betonbruch zur Herstellung von Betonsplitten sowie deren Vermarktungschancen in der Baupraxis	300
9.6	Ökologisches Screening zu Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen.....	302
9.7	Diskussion der Ergebnisse zur Herstellung von RC-Beton, Ausblick.....	304
10	Moderne, zukunftsorientierte Entwicklungen zur Abfallvermeidung im Hochbau	307
10.1	Einleitung	307
10.2	Aufgaben und Zielstellungen für ein sinnvolles, modernes und ökologisch orientiertes Bauelemente- und Baustoffrecycling.....	308
10.3	Aspekte und grundsätzliche Anforderungen an recyclinggerechte Konstruktionen	311
10.4	Anwendungsbeispiele - Auswahl.....	314
10.5	Zwischenfazit	315

11 Zusammenfassung und Ableitung von Schlussfolgerungen	317
11.1 Fazit.....	331
11.2 Schlussfolgerungen	333
Abkürzungsverzeichnis	335
Abbildungsverzeichnis	337
Tabellenverzeichnis	342
Literaturverzeichnis	346
Schriftenverzeichnis Alleinautorin	358
Gesetz-, Normen- und Richtlinienverzeichnis.....	364

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit beinhaltet die Zusammenfassung von 66 Veröffentlichungen, die die Autorin alleinig verfasst hat.

Jeweils am Anfang eines Kapitels wird auf die, entsprechend dem Inhalt des Kapitels einordenbaren, Publikationen hingewiesen. Die Angabe erfolgt in eckiger Klammer von [1] bis [66] (entspricht der Anlage g) A1 Habilitationsantrag).

Die eigenen Veröffentlichungen sind übergeordnet der Thematik „Material- und Produktrecycling im Bauwesen“ zuzuordnen.

Alle in der Arbeit zugrunde gelegten eigenen Publikationen sind hinsichtlich der neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse / des Standes der Technik inhaltlich überprüft und aktualisiert worden. Hierbei sind die zwischenzeitlich neu gewonnenen eigenen Forschungsergebnisse eingeflossen wie auch die von Externen.

1.1 Hintergrund und Motivation

Das Thema Recycling verbunden mit der Forderung der heutigen Gesellschaft, umweltbewusst zu handeln, ist nicht mehr weg zu diskutieren. Stand in den 1980er Jahren die Sanierung negativer Umweltfolgen im Fokus, so haben sich die Prioritäten auf den präventiven Umweltschutz verlagert. Dieser vorsorgende Aspekt bildet die Basis einer nachhaltigen Wirtschaftsweise; resultierend aus dem erstarkten Bewusstsein, dass die menschliche Gesellschaft und die Wirtschaft Gefahr laufen, sich ihrer natürlichen Lebensgrundlagen zu berauben.

Das sechste Umweltaktionsprogramm der Europäischen Union (2002) zielt hinsichtlich des Umgangs mit natürlichen Ressourcen und Abfällen darauf, einerseits das Gesamtabfallaufkommen zu verringern und andererseits Ressourcen effektiver zu nutzen. Zum Abfallrecycling schlägt die EU vor (2005), Maßnahmen zur Förderung der Abfallvermeidung, der Verwertung und der Wiederverwendung zu ergreifen, die den gesamten Lebensweg eines Produktes/einer Ressource einbeziehen.

Auf dem 37. St. Gallen Symposium (Schweiz) vom 31.05.-02.06.2007 wurde beispielsweise erneut verdeutlicht, dass 200 Jahre nach dem Durchbruch der industriellen Revolution und 30 Jahre nach der Ölkrise die natürlichen Ressourcen als bestimmender Faktor der globalen Entwicklung wieder im Zentrum der Aufmerksamkeit stehen.

Dem „Living Planet Report 2008“¹ des WWF² zufolge hat sich der ökologische Zustand der Erde im Vergleich zum Report in 2006 weiter verschärft. Als hauptsächliche Indikatoren dafür werden v. a. der steigende Ressourcenverbrauch, die Entwaldung, der Klimawandel, die Umweltverschmutzung und die Überfischung genannt.

¹ Herausgegeben von WWF (World Wide Fund for Nature), Zoological Society of London (ZSL) und Global Footprint Network; Pressemeldung 29.10.2008 WWF Deutschland

² „WWF (World Wide Fund for Nature) ist eine der größten Naturschutzorganisationen der Welt und in mehr als 100 Ländern aktiv.“ [www.wwf.de/der-wwf/]

Alarmierend ist die Erkenntnis, dass bei unveränderter Ressourceninanspruchnahme der Planet Erde in den 2030er Jahren zwei Mal gebraucht werden würde. Massiv gestiegene Rohstoffpreise wie z.B. für Energie, Nahrungsmittel und Baustoffe reflektieren bereits die zunehmend globalen Instabilitäten natürlicher Rohstoffvorkommen. Um der erhöhten Nachfrage nach Energie bis 2050 bei gleichzeitiger Senkung von Treibhausgasen nachzukommen, ist der Umgang mit unseren Ressourcen zu optimieren. D.h. um den Weg der Nachhaltigkeit einzuschlagen, müssen wir uns endgültig vom Durchflusswirtschaften lösen und zu einer effizienten Kreislaufwirtschaft kommen.

Innerhalb des Bauwesens nimmt die Betonbauweise eine herausragende technische und wirtschaftliche Stellung ein. Beton wird als „faszinierender Baustoff des 20. Jahrhunderts“ bezeichnet aufgrund der Mengen an verbautem Beton, seiner vielfältigen Anwendungen, Dauerhaftigkeit und Leistungsfähigkeit. Neben der Verarbeitung als Ort- oder Transportbeton werden für das Bauen Betonfertigteile eingesetzt mit dem Ziel, kurze Bauzeiten und geringe Kosten zu erreichen.

Gebäude aus industriell gefertigten Betonelementen sind in der ehemaligen DDR aus diesen Gründen in einer exorbitanten Anzahl v.a. im Wohnungsbau gebaut worden und bestimmen noch heute das Erscheinungsbild vieler Städte (s. Kap. 3). Nach der Wiedervereinigung Deutschlands sind diese in Montagebauweise errichteten Bauten – im allg. Sprachgebrauch Plattenbauten – aufgrund ihrer Monotonie, der veränderten Wohnpräferenzen und infolge politischer Hintergründe immer stärker in die Kritik geraten.

Demografische und wirtschaftsstrukturelle Veränderungen führten zudem dazu, dass auch und gerade diese Bausubstanz von einer besonderen Leerstandsdynamik gekennzeichnet ist. Der ostdeutsche Wohnungsmarkt ist außerordentlich hart von Abwanderungen betroffen.

In zahlreichen ostdeutschen Städten ist in den letzten Jahren eine Leerstandssituation entstanden, die es in dieser Schärfe und flächenhaften Ausdehnung bislang kaum gegeben hat. Baulicher Verfall und soziale Erosion drohen, wenn dem nicht begegnet wird. Insofern gehört der Stadtumbau resp. die Stadterneuerung zu den drängendsten Themen der Wohnungs- und städtebaulichen Entwicklung.

Alle am Stadtumbau Beteiligten haben sich der neuartigen Herausforderung des Paradigmenwechsels der rückläufigen Tendenz anstelle des Wachstums zu stellen. Dem Grundsatz der Nachhaltigkeit entsprechend ist zukunftsorientiert und ressourcenbewusst zu agieren und nicht nur zu reagieren. Die Kreislaufführung von Baustoffen und Bauprodukten ist dabei von grundlegender Bedeutung.

Ein sinnvoller, architektonisch ansprechender, den Wohnpräferenzen weitestgehend individueller Umbau der seriell errichteten Bauten gekoppelt mit einer hochwertigen Nachnutzung der dabei anfallenden Bauteile bietet Ansätze, die weder mittels Modernisierungs-, noch mit traditionellen Abbrüchen und Ersatzneubauten erfüllt werden können.

Mit den vielfältigen wissenschaftlichen Fragestellungen zur Abfallvermeidung, Wiederverwendung und der Verwertung von mineralischen Baustoffen und Bauprodukten setzt sich die Autorin seit Mitte der 1980er Jahre auseinander.

Anfangs konzentrierten sich die Untersuchungen auf Gebäude des Industrie- und Gewerbebaus. Seit Ende der 1990er Jahre besteht Klärungsbedarf im Bereich des Wohnungsbaus. Die jährlich anfallen-

den Mengen an Bauabfällen (vgl. Kap. 9) sind exorbitant und unterstreichen diesen Anspruch – sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene. Vor dem Hintergrund, nachhaltige Lösungen im Zusammenhang von Stadtumbaumaßnahmen zu erzielen, konzentrieren sich die Forschungsaktivitäten auf das prioritäre Ziel der Kreislaufwirtschaft, d.h. bei der Leerstandsbewältigung auf die Umsetzung des Abfallvermeidungsgedankens. Folglich liegt der Schwerpunkt auf der sekundären Verwendung von Betonbauelementen (Produktrecycling = Wiederverwendung). In zweiter Linie wird die höchstwertige Verwertung von Recycling-Baustoffen (Materialrecycling = Wiederverwertung) angestrebt.

Diese Strategie verfolgt auch aktuell die EU-Kommission mit einer lang angelegten Abfallstrategie, Europa zu einer Recyclinggesellschaft zu entwickeln mit der Zielstellung

- weg von einer Abfall orientierten
- hin zu einer Rohstoff orientierten

Sichtweise.

Gemäß dem Entwurf zur neuen Abfallrahmenrichtlinie³ richtet sich die moderne Abfallpolitik auf folgende 5-stufige Hierarchie aus:

Abfallvermeidung vor Wiederverwendung, Recycling, Verwertung und Beseitigung.

Obwohl in den vergangenen Jahren einige Erfolge zur Vermeidung des Anfalls von Bauabfällen durch pilothafte Wiederverwendungsmaßnahmen (s. Kap. 7) sowie zur umweltgerechten Entsorgung (Verwertung und Beseitigung, s. Kap. 9) zu verzeichnen sind, wird deutlich, dass das vorhandene Potenzial bei weitem noch nicht ausgeschöpft wird.

1.2 Zielsetzung

Die Forschungsarbeit der Antragstellerin zielt darauf ab, den aktuellen Erkenntnisstand zum Produkt- und Materialrecycling wissenschaftlich fundiert aufzuzeigen, um für das bislang ungenutzte Leistungsvermögen des Baubestandes potenzielle Verwendungs- und Verwertungspfade vor dem Bewertungshintergrund der Nachhaltigkeit zu forcieren. Priorität hat die oberste Zielsetzung der Kreislaufwirtschaft, die Abfallvermeidung wie auch die Ressourcenschonung der natürlichen Vorkommen durch die

- Wiederverwendung von Betonelementen (Produktrecycling) und
- Verwertung von mineralischen Rezyklaten (Material-/Stoffrecycling)

als gleichrangige Alternativen zu Primärbaustoffen und primären Bauprodukten.

Die Wichtung der Spezifik unter Nachhaltigkeitsprämissen zwingt dazu, Wiederverwendungen und Wiederverwertungen ganzheitlich in ökonomischer, sozialer und ökologischer Hinsicht zu bewerten. Die theoretischen Grundlagen sind mit den Bedingungen der Praxis zu verknüpfen, iterativ zu prüfen

³ Am 17.06.2008 wurde im Rahmen des mehrjährigen, intensiven Novellierungsprozesses der EG-Abfallrahmenrichtlinie eine Einigung des Europäischen Parlaments in 2. Lesung erzielt. Die neue Richtlinie bildet die Grundlage für einen verbesserten Umwelt-, Klima- und Ressourcenschutz in der Abfallwirtschaft.

und ggf. neu zu bewerten. Dadurch werden der Weg einer umfassenden Bewertung als auch die konkreten Chancen herausgearbeitet,

Der Schwerpunkt der Untersuchungen besteht darin, industriell errichtete Wohnbauten der DDR-Zeit, die zum Abbruch / Rückbau anstehen, hinsichtlich der höchstwertigen Recyclingform (Wiederverwendung) zu bewerten. Im Rahmen des Materialrecyclings steht vordergründig die Verwertung von RC-Gesteinskörnungen für RC-Beton zur Diskussion.

Des Weiteren zielen die Untersuchungen auf a priori verbaute schadstoffhaltige Baumaterialien ab. Über die Charakterisierung der einzelnen Schadstoffe, die in Plattenbauten angetroffen werden können (asbesthaltige Materialien, KMF, teerhaltige Dachpappen), und deren gesundheitlichen Auswirkungen hinausgehend sollen innovative Verwertungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Die vorliegende Arbeit soll in Fortführung der vorhandenen Grundlagen einen Beitrag zur Umsetzung der theoretischen Erkenntnisse in die Praxis bieten. Die Ausführungen dienen der Planung, dem Bauen, Rückbauen und der Entsorgung als Entscheidungsgrundlage.

Gleichwohl soll die Arbeit als Kompendium für Studenten im Rahmen der Lehrveranstaltungen zum „Baulichen Recycling“ an der BTU Cottbus zur Verfügung gestellt werden.

Zur Abarbeitung der Zielstellungen sind schwerpunktmäßig folgende Aufgaben zu lösen:

- Analyse der Wohnungsleerstandssituation, Ableitung von möglichen Strategien zur Leerstandsbekämpfung und Auswirkungen vorhandener politischer Instrumente auf die hauptsächlich zur Anwendung kommende Strategie
- Analyse, Zusammenfassung und Diskussion vorhandener Erkenntnisse zur Thematik Recycling von Baustoffen und Bauprodukten inkl. der Nachweisführung von wirtschaftlichen und ökologischen Effekten
- Analyse und Zusammenfassung von Kenntnissen zum Bauzustand resp. zur Gebrauchstauglichkeit der Betonelemente
- Zusammenfassung der Ergebnisse zum krankegeführten Rückbau von Plattenbauten inkl. der Bewertung der Beeinflussung der zur Anwendung kommenden Technologien auf den Bauzustand der Betonelemente und Ableitung von präventiven Maßnahmen zur Verminde- rung von Beschädigungen
- Zusammenfassung des Wissensstandes zu den verbauten Schadstoffen inkl. der Darstellung der Fundorte, der Verwertungszeiträume und der spezifischen Entsorgungsanforderungen resp. –optionen
- Darstellung der Nachnutzungsmöglichkeiten für gebrauchte Betonelemente inkl. der Anforderungen mit einem Überblick bisheriger praktischer Lösungen / Fallbeispiele und aktueller Forschungsarbeiten
- Zusammenstellung von generellen Anforderungen zum recyclinggerechten Bauen
- Ableitung von Schlussfolgerungen für das Produkt- und Materialrecycling sowie weiterführende Problemstellungen

Die Arbeit geht von der Gesamtproblematik zu beseitigender resp. zu verändernder Plattenbauten aus und soll den komplexen Zusammenhang der zu lösenden Anforderungen an das Produkt- und Materialrecycling aufzeigen. Gleichzeitig sollen mit der Arbeit die in der Praxis noch vielfachen Unsicherheiten, konservativen Verhaltensweisen und Wissensdefizite abgebaut werden, um hochwertige Recyclingoptionen zu fördern.

1.3 Untersuchungsschwerpunkt, Abgrenzung, Struktur

Die Untersuchungen konzentrieren sich auf in Stahlbetonbauweise errichtete Wohnbauten. Analysiert und bewertet wird das Recycling von mineralischen Produkten (Bauelementewiederverwendung) und von mineralischen Baustoffen (Materialwiederverwertung). Das Hauptaugenmerk liegt auf dem Produktrecycling.

Die Arbeit befasst sich mit den wesentlichen Teilprozessen zur Demontage der Rohbaukonstruktion und mit den Vorbereitungsprozessen zur Wiederverwendung von Betonelementen. Alternativ wird das Materialrecycling aus bautechnischer und umweltverträglicher Sicht bewertet. Der Erkenntnisstand wird über die bisherig geschaffenen eigenen Grundlagen hinausgehend weiter entwickelt.

In die Darstellung des Standes der Technik zur Wiederverwendung und Wiederverwertung sind Rechercheergebnisse aktuell publizierter Forschungsarbeiten neben eigenen ermittelten Ergebnissen integriert worden. Aus dem aktuellen Erkenntnisstand ableitend werden bestehende Zusammenhänge näher und innovative Lösungen ganzheitlich betrachtet.

Die Arbeit beinhaltet relevante Rahmenbedingungen (rechtliche, technische, wirtschaftliche und ökologische) für das Material- und Produktrecycling.

Jede Recyclingoption zielt darauf ab, den Verbrauch von Energie und Ressourcen zu minimieren, um den Naturhaushalt so gering wie möglich zu belasten. Anhand von „Nachhaltigkeits-“ und „Referenzszenarien“ ist deshalb die Vorzugsvariante nach ökologischen Kennwerten ermittelt worden, um die gegenwärtig weitestgehend monetären Entscheidungen durch eine fundierte ganzheitliche Grundlage abzulösen.

Abschließend werden der Wissensstand zusammengefasst und offene Probleme im Hinblick der Sicherung eines hochwertigen Produkt- und Materialrecyclings diskutiert.

Schwerpunktmäßig kann man – wie in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt – die Veröffentlichungen [1] bis [66] in **folgende Teilgebiete** untergliedern:

- Die Einordnung des Produkt- und Materialrecyclings in die Kreislaufwirtschaft (Kap. 2)
- Rückbaukonzeptionen in der Wohnungswirtschaft (Kap. 3)
- Rückbau von Plattenbauten (Kap. 4)
- Schadstoffe in Plattenbauten und deren spezifische Entsorgung (Kap. 5)
- Qualitätsmerkmale gebrauchter Betonelemente (Kap. 6)
- Nachnutzungsmöglichkeiten für gebrauchte Betonelemente (Kap. 7)
- Wirtschaftliche und ökologische Bewertung des Produktrecyclings (Kap. 8)

- Baustoff- / Materialrecycling (Kap. 9)
- Moderne, zukunftsorientierte Entwicklungen im Hochbau (Kap. 10)
- Zusammenfassung und Ableitung von Schlussfolgerungen für das Material- und Produktrecycling (Kap. 11)

Die Arbeit konzentriert sich auf Sachverhalte, die besondere Potenziale hinsichtlich der Ressourcen- und Energieschonung versprechen.

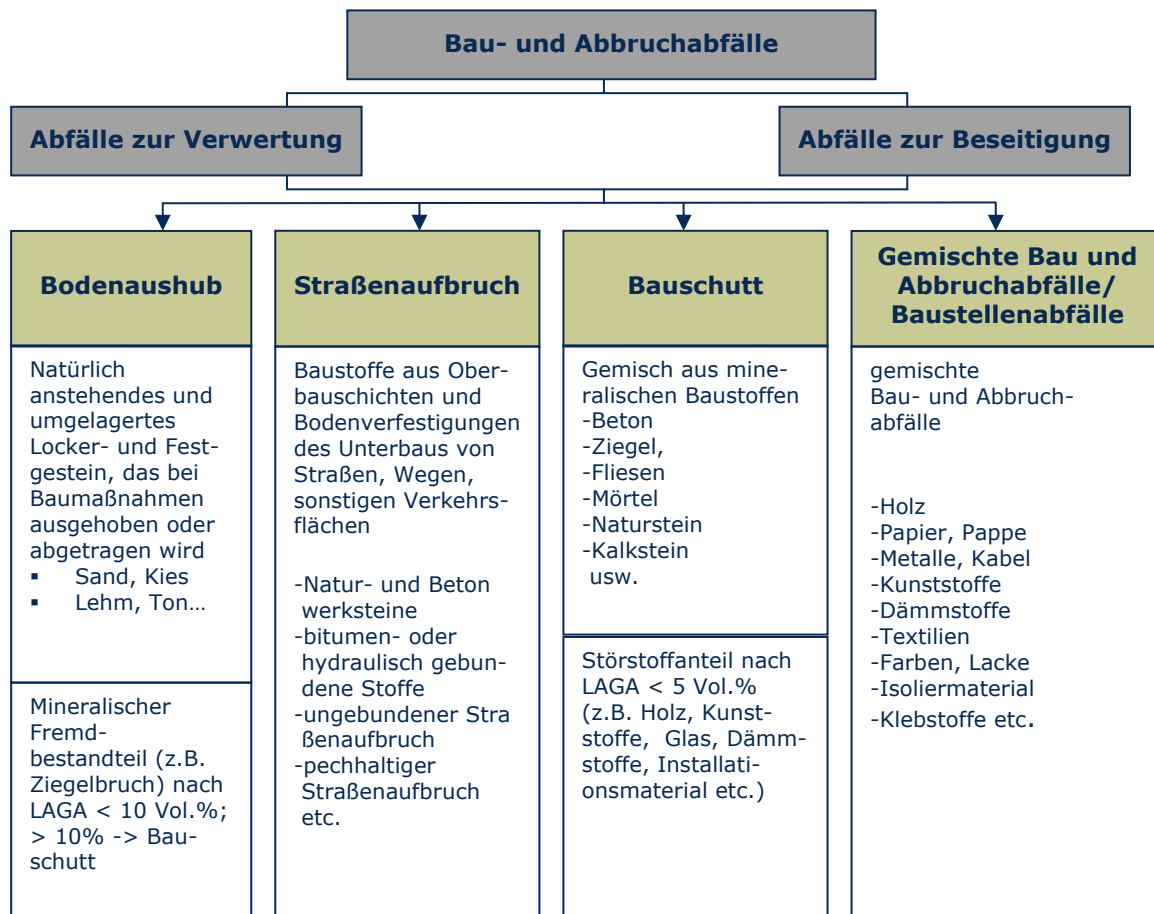
2 Grundlagen

2.1 Begriffliche Klärungen

Im Zusammenhang nachstehender Ausführungen werden folgende Begriffe vorangestellt:

Bau- und Abbruchabfälle

Bau- und Abbruchabfälle fallen bei Neubau-, Umbau-, Abbruch- und Ausschachtungsmaßnahmen an (s. Abb. 2.1).



LAGA (Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen (LAGA M20; s. Kap. 9)

Abb. 2.1: Bau- und Abbruchabfälle - Kategorien

Der Abfallbegriff wird im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) entsprechend der EG-Abfallrahmenrichtlinie 81/156/EWG definiert. Nach § 3 Abs. 1 Satz 1 KrW-/AbfG sind Abfälle bewegliche Sachen, deren sich der Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss. Damit ist der Besitzer/Bauherr von Bau- und Abbruchabfällen für alle Schritte zur Untersuchung des Materials und zur Einholung aller erforderlichen Genehmigungen verantwortlich. Zudem ist er verpflichtet, seine anfallenden Materialien einer Abfallart und Abfallschlüsselnummer zuzuordnen.

Unter Zugrundelegung des Europäischen Abfallverzeichnisses (AVV)⁴ werden die Arten der Abfälle mit sechsstelligem Abfallschlüssel gekennzeichnet:

- die ersten beiden Ziffern geben das Kapitel an, welches die Herkunft und den Entstehungsprozess berücksichtigt,
- die mittleren beiden Ziffern, die Untergruppe, welche eine bestimmte Stoffgruppe repräsentiert,
- die beiden letzten Ziffern die fortlaufende Nummerierung.

In 20 Kapiteln werden insgesamt 839 Abfallarten erfasst. Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten) sind im Kapitel 17 registriert (s. Abb. 2.2). Nicht zuordenbare Abfälle sind im Kapitel 16 „Abfälle, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind“ zu bestimmen.

In Abhängigkeit des Umweltgefährdungsgrades wird nach abfallwirtschaftlichen Gesichtspunkten in

- gefährliche Bauabfälle, gekennzeichnet mit * hinter der Abfallschlüsselnummer und
- nicht gefährliche Bauabfälle

unterschieden.

Im AVV sind 14 Gefährlichkeitskategorien aufgeführt (explosionsgefährlich bis ökotoxisch).

Ist die Zuordnung zu einem Kapitel, jedoch zu keiner Stoffgruppe möglich, so hat die Einstufung in eine 99er Untergruppe zu erfolgen.

17 Bau- und Abbruchabfälle				
1701 Beton, Ziegel, Fliesen, Keramik	17 01 01 Beton	17 01 02 Ziegel	17 01 03 Fliesen, Ziegel, Keramik	17 01 07 Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen u. Keramik mit Ausnahme der unter 17 01 06*
1703 Bitumengemische, Kohlenteer und teerhaltige Produkte	17 03 02 Bitumengemische mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 03 01* fallen			
1705 Boden, Steine und Baggergut	17 05 04 Erde und Steine mit Ausnahme der unter 17 05 03*	17 05 06 Baggergut mit Ausnahme der unter 17 05 05*	17 05 08 Gleisschotter mit Ausnahme der unter 17 05 07*	
1709 Sonstige Bau- und Abbruchabfälle	17 09 04 Gemischte Bau- und Abbruchabfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 09 01*, 17 09 02*, 17 09 03* fallen			

Abb. 2.2: Quellen mineralischer Abfälle

Über die Aufkommenskennzahlen werden Aussagen zur absoluten oder spezifischen Menge an Bauabfällen möglich. Sie dienen

- zur Planung von Kapazitäten für die Verwertung oder Beseitigung,
- zur Erfassung des Substitutionspotenzials natürlicher Ressourcen,
- zur Ermittlung von Recyclingquoten.

⁴ VO über das Europäische Abfallverzeichnis, AVV vom 10.12.2001

Material- resp. stoffliches Recycling

Das Materialrecycling untergliedert sich in Wiederverwertungs- und Weiterverwertungsmaßnahmen.

- **Wiederverwertung (Auflösung der Produktgestalt)**

Darunter wird der erneute Einsatz von Bau- und Abbruchabfällen verstanden wie z.B. die Aufbereitung von Bauschutt in Recyclinganlagen zu RC-Baustoffen und deren sekundäre Verwertung in Bauten und baulichen Anlagen.

Recycling-Baustoffe (RC-Baustoffe) sind Gemische aus Gesteinskörnungen, die bereits in gebundener oder ungebundener Form eingesetzt waren.

- **Weiterverwertung**

Dazu zählt bspw. der Einsatz von Aushubmassen als Verfüllmaterial, ohne dass eine Aufbereitung im Sinne des Shredderns von Material stattfindet. Lediglich ein Siebvorgang kann zum Tragen kommen.

Produktrecycling

Zum Produktrecycling gehören Wiederverwendungs- und Weiterverwendungsmaßnahmen.

- **Wiederverwendung (Beibehaltung der Produktgestalt; Up-Cycling)**

Die Wiederverwendung beinhaltet den wiederholten Gebrauch eines Bauproduktes in ursprünglicher Form und Gestalt. So z.B., wenn Bauelemente ausgebaut oder rückgebaut/demontiert werden und sie für den gleichen oder ähnlichen Verwendungszweck, den sie ursprünglich hatten, nachgenutzt werden.

- **Weiterverwendung**

Zur Weiterverwendung zählt die Nachnutzung von demontierten Bauelementen zu anderen (sekundären) Verwendungszwecken wie bspw. Wandelemente aus Wohnbauten werden zur Herstellung von Lärmschutzwänden eingesetzt.

2.2 Einordnung des Produkt- und Materialrecyclings in die Kreislaufwirtschaft

Mit dem im Oktober 1996 in Kraft getretenen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) ist der Grundstein zur Schließung von Stoffkreisläufen gelegt worden. Zweck des Gesetzes ist die Förderung einer rückstandsarmen Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen und die Sicherung der umweltverträglichen Entsorgung nicht vermeidbarer Abfälle (§1 KrW-/AbfG). Um den Vorgaben des KrW-/AbfG nachzukommen, bedarf es eines konsequenten Stoffstrommanagements. Stoffe und Produkte sind folglich möglichst lange in möglichst kleinen Kreisläufen zu führen, um die eingesetzten Stoffe (Material und Energie) weitestgehend oder vollständig auszunutzen (s. Abb. 2.3).

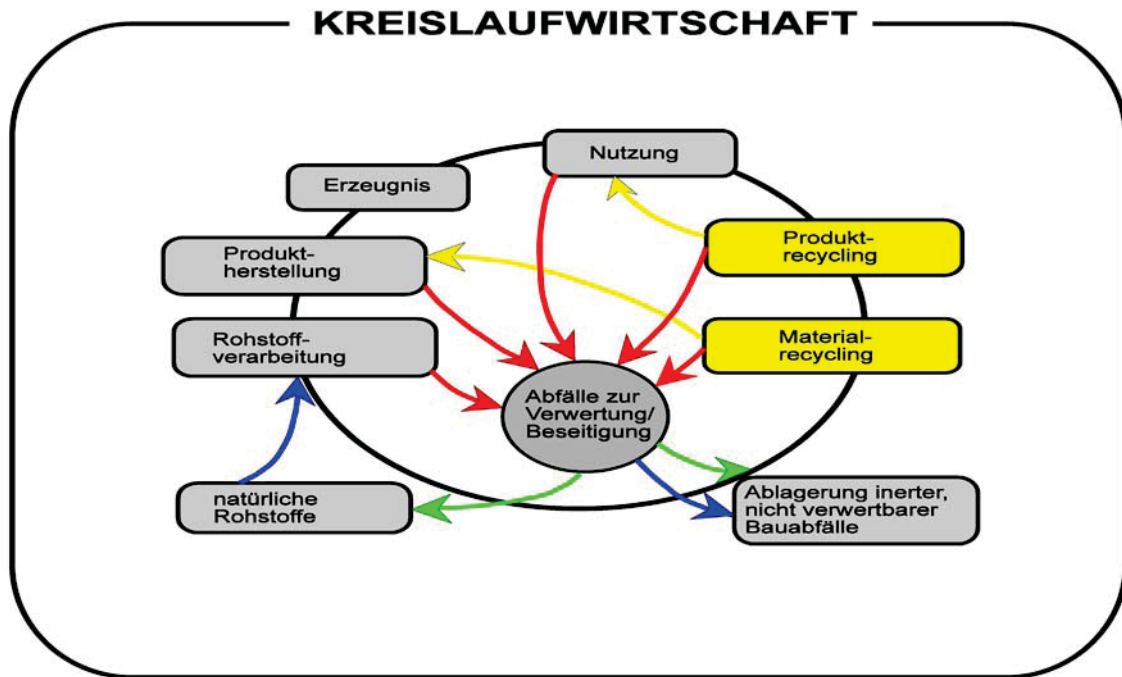


Abb. 2.3: Darstellung der angestrebten Kreislaufführung

Die Lenkung des Stoffflusses Rohstoff – Baustoff – Bauteil – Bauwerk – Bauabfall im Kreis zeigt, dass erkannt wurde, Abfälle als nutzbar mit den ihnen innewohnenden Werten einzustufen. Eine gänzlich abfallfreie Kreislaufführung ist unter praktischen Bedingungen jedoch nicht möglich, allerdings lässt sich mit einem Produktrecycling der Abfallstrom wesentlich reduzieren, d. h. der Abfallentstehung kann vorgebeugt werden, wenn das Bauteil als Bauteil nachgenutzt wird. Dies hat den Vorteil, dass die in den Bauelementen vorhandene vergegenständlichte Wertschöpfung erhalten bleibt und gleichzeitig der „Umweltverbrauch“, der mit der Neuproduktion verknüpft ist, eingeschränkt wird.

Nachstehendes Schema (Abb. 2.4) soll aufzeigen, mit welchen Maßnahmen in der Baubranche dem übergeordneten Ziel zum Umweltschutz – der vorrangigen Orientierung am Vorsorgeprinzip – Rechnung getragen werden kann.

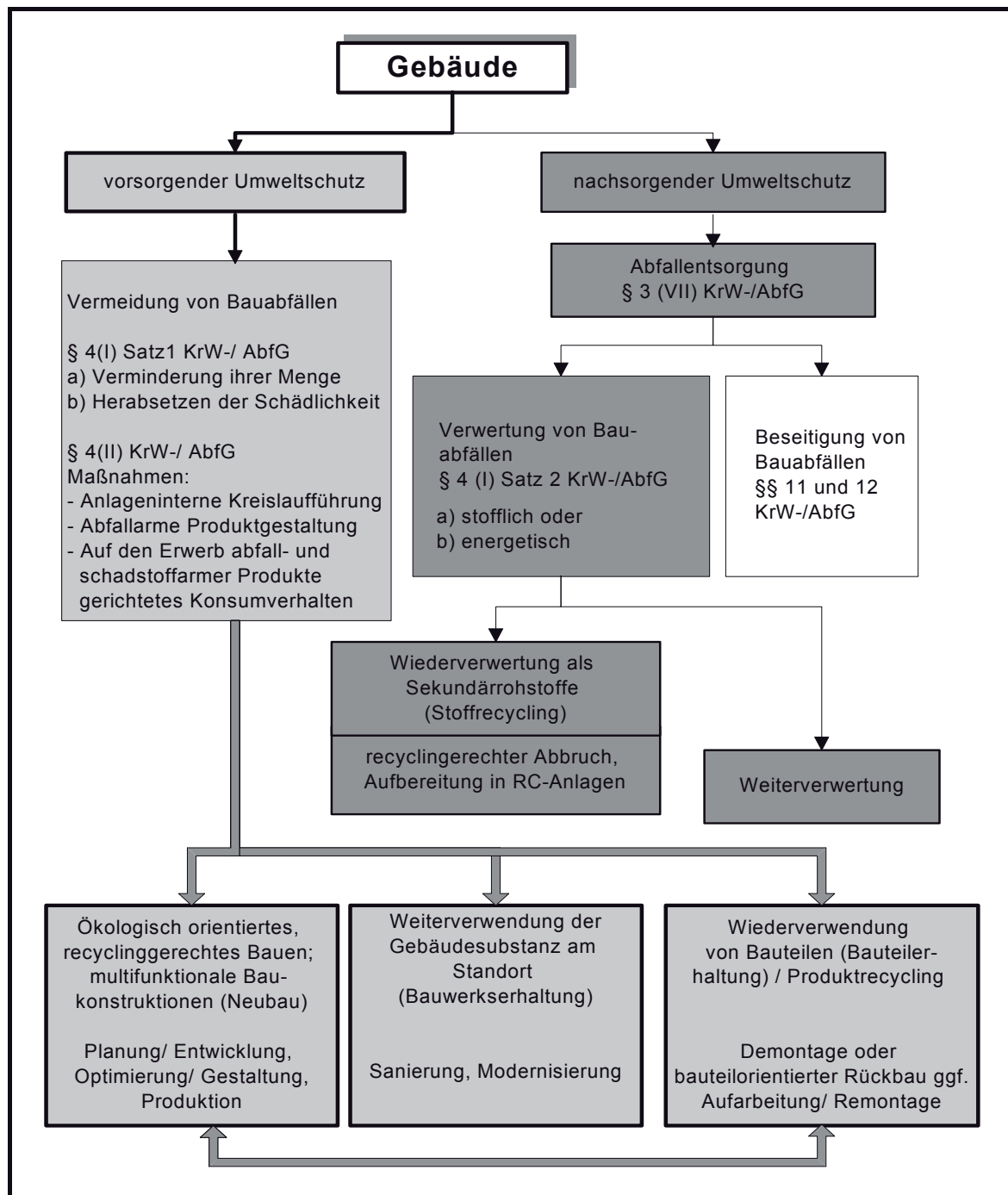


Abb. 2.4: Zuordnung von Maßnahmen zur nachhaltigen Entwicklung von Gebäuden unter Einbeziehung relevanter Regelungen des KrW-/AbfG

Als **Vermeidungsmöglichkeiten an der Quelle** im Hinblick auf die Verringerung der Menge und/oder Gefährlichkeit von Abfällen und Emissionen in der Baubranche werden gesehen (vgl. Abb. 2.4):

1. Bau von multifunktionalen Konstruktionen unter dem Gesichtspunkt, ökologisch orientiert und recyclinggerecht zu bauen durch

- Einsatz umweltgerechter Bauprodukte (Produktänderungen oder -veränderungen),
- Änderung oder Veränderung des Herstellungsverfahrens und des Prozesses selbst sowie
- Änderung des Einsatzes von Roh- und Betriebsstoffen,
- Änderung der Bauweisen.

2. Nach- oder Weiternutzung von Gebäuden

unter dem Aspekt der Bauwerkserhaltung (Ausschöpfung der Langlebigkeit der Bauteile, Flächeninanspruchnahme u. a.)

3. Wieder- und Weiterverwendung von Bauprodukten (Produktrecycling)

unter dem Blickwinkel, Bauprodukte weitestgehend in ihrer originären Gestalt zu erhalten und sekundär als Bauprodukt nachzunutzen (Ressourcenschonung, Auslastung der Langlebigkeit der Bauteile u. a.).

Daneben tragen

4. anlageninterne oder produktionsprozessinterne Recyclingmaßnahmen

zur Abfallvermeidung bei, wenn

- Produktionsabfälle in den Produktionsprozess zurückgeführt werden (Produktionsabfallrecycling) wie etwa die Verwertung von Kalksandstein - Bruchmaterial zur Kalksandsteinherstellung oder Verwertung von überschüssigen Betonmischungen durch ihre Aufbereitung in Beton- und -fertigteilwerken zur Verwendung der Gesteinskörnungen oder Verwertung von Kunststoffabfällen zur Produktion von Baufolien - also Abfallstoffe für denselben oder einen anderen Herstellungsprozess eingesetzt werden.
- Stoffe oder Emissionen in der Anlage im Kreis geführt werden (anlageninterne Kreislaufführung) wie etwa die Kreislaufführung von gebrauchtem und aufbereitetem Wasser in Baustoff-Recyclinganlagen zur Nasssichtung der Rezyklate.

Zum einen soll dadurch zum Ausdruck gebracht werden, dass Bauten zukünftig mehr multifunktionalen Forderungen entsprechen sollten, indem sie ökologisch orientiert und recyclingfreundlich erstellt werden (vgl. Kap. 10). Synonym sind die Begriffe Bauökologie, ökologisch Bauen oder umweltverträgliches Bauen. Das Ziel obliegt einer flächendeckenden Verbesserung der Umweltverträglichkeit des Bauens. Die Auseinandersetzungen mit Fragen des Rohstoff- und Energieverbrauchs, der Zuträglichkeit von Baumaterialien, des Unterhalts von Gebäuden, ihrer Erneuerung und der Entsorgung des

Bauschutts sind ebenso relevant wie die immateriellen Ziele des Bauens, um die Eingriffe in den Naturhaushalt soweit als möglich zu minimieren. Damit sind sämtliche Planungs- und Bauentscheide - im Vergleich zur herkömmlichen Bauplanung - zusätzlich hinsichtlich der Umweltverträglichkeit zu überprüfen.

Folglich muss das Ziel des Bauens verstärkt in Richtung ökologisch optimale sowie sinnvolle Lösungen gehen und nicht wie derzeit hauptsächlich in kostengünstige Investitionslösungen münden.

Gleichwohl sollte die Option, Gebäude nach dem Nutzungsende am Standort zu erhalten, tatsächlich mehr Beachtung finden, als dies derzeit oftmals noch der Fall ist. Viel zu oft werden Entscheidungen zur Beseitigung von entweder nicht oder nur wenig physisch verschlissener oder lediglich moralisch verschlissener Bausubstanz gefällt, um zu meinen, moderne(re) Ersatzbauten erstellen zu müssen oder Leerstände abzubauen. Dem Umweltschutzgedanken wird dabei kaum Relevanz eingeräumt, denn selbst wenn Sanierungs- oder Modernisierungsmaßnahmen notwendig werden sollten, ist es möglich, den Bestand zu integrieren, so dass anspruchsvolle, zeitgemäße, moderne Lösungen entstehen. Evident ist hierbei der Vorteil, dass die einmal geschaffene Wertschöpfung des Erzeugnisses (Gebäude) erhalten bleibt, wenn auch nicht immer gänzlich.

Können Gebäude nicht nachgenutzt werden oder sind überflüssig geworden, so sollte bei den zum Rückbau anstehenden Gebäuden zuerst geprüft werden, inwiefern zumindest die Wertschöpfung der Produkte (Bauteile/Bauelemente), erhalten werden kann. D.h., zu klären ist die Frage, ob die gebrauchten Produkte sekundär nutzbar resp. wieder- oder/und weiterverwendbar sind. Erst bei negativer Beantwortung zur Wiederverwendungsfähigkeit ist der Frage zur Verwertung nachzugehen (nach-sorgender Umweltschutz).

Allen genannten vorsorgenden Optionen ist die Umsetzung des Vermeidungsgedankens gemein. Der Entstehung von (Bau-)Abfällen soll vorgebeugt, Energie und Stoffflüsse sollen reduziert, schadstoffbelastete oder -bedenkliche Materialien sollen vermieden oder selektiv behandelt werden.

Kreisprozesse laufen demzufolge auf verschiedenen Ebenen ab⁵, u. a.:

- innerhalb der Bauindustrie als industrieinterne Kreisläufe:
 - betriebsinternes Recycling: anlageninterne und produktionsprozessinterne Kreislaufführung von Baustoffen u./o. Emissionen,
 - betriebsexternes Recycling: Kreislaufführung von Baustoffen u./o. Emissionen außerhalb des Betriebes oder Verwertung von Bauabfällen als Sekundärrohstoffe wie z.B. zur Herstellung von sog. Betonsplittbetonen,
- im Zusammenwirken der Bauindustrie mit dem Konsumenten als Bauindustrie- Konsument-Kreislauf bzw. als Konsument - Bauindustrie - Kreislauf:
 - Verkauf von in Nutzung gewesenen (gebrauchten) Bauprodukten als Ersatz für neue Produkte wie etwa die Wiederverwendung von ggf. aufgearbeitetem Parkett, Türen oder Betonfertigteilen (Hohldielen, Deckenplatten, Innenwandplatten u. a.),

⁵ vgl. Moser, Franz: Kreislaufwirtschaft und nachhaltige Entwicklung, in: Produktions- und produktintegrierter Umweltschutz, Brauer, Heinz (Hrsg.), Berlin u.a., 1996, S. 1072, 1076

- Verkauf von Recyclingbaustoffen als Ersatz für Primärrohstoffe wie z.B. Ziegelsplitt in Bodensubstraten verwertet zur Dachbegrünung,
- Rückführung von gebrauchten Baustoffen und Bauprodukten in die Bauindustrie wie z. B. von Gipskartonplatten in die Gipskartonplattenindustrie zur Wiederaufbereitung.

Zusammenfassend lässt sich also feststellen, dass die mit der Kreislaufführung von Stoffen und Produkten bezweckte Annäherung an geschlossene Stoffkreisläufe eine der methodischen Bestandteile im Konzept des integrierten Umweltschutzes ist. Der Begriff „Nachhaltigkeit“ wird zwar an keiner Stelle des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes verwendet, aber es verfolgt einen ressourcenökonomischen Ansatz und beinhaltet verschiedene Informationen zur Umsetzung dieses Anliegens.

2.3 Basisdaten zum Baubestand

Der Bestand an Gebäuden in Deutschland beträgt knapp 19 Mio. Bauten; davon entfallen 17,3 Mio. auf Wohngebäude und 1,5 Mio. auf Nichtwohnbauten.⁶ Der Wert wird mit 8,1 Bill. € beziffert, wovon 4,5 Bill. € oder 55,34% Wohngebäude und 3,6 Bill. € bzw. 44,66% Nichtwohngebäude ausmachen (Stand 2002).

Der Wohnungsbestand beträgt insgesamt knapp 40 Mio. Wohnungen. Der Wohnungsbestand im früheren Bundesgebiet umfasst rund 29,687 Mio. WE und in den neuen Ländern einschl. Berlin rund 8,867 Mio. WE.⁷ Nach dem Baualter geordnet, wurde der größte Teil der Wohnungen zwischen 1949 und 1978 (vor der ersten Wärmeschutzverordnung) gebaut (vgl. Abb. 2.5).

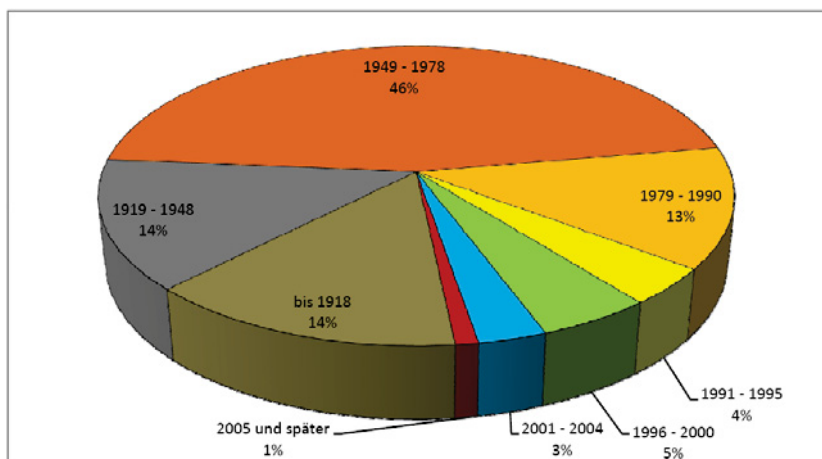


Abb. 2.5: Wohneinheiten in Gebäuden mit Wohnraum nach Baujahr

⁶ www.bmvbs.de/klima-Umwelt-Energie/Bauen-Wohnen... aufgerufen am 17.11.2008

⁷ Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch 2008. S. 289

In den neuen Ländern einschließlich Berlin stellt sich der Anteil an Wohnungen in Mietwohneinheiten in Höhe von 4.652 Mio. für 2006 nach Baujahr wie folgt dar:⁸

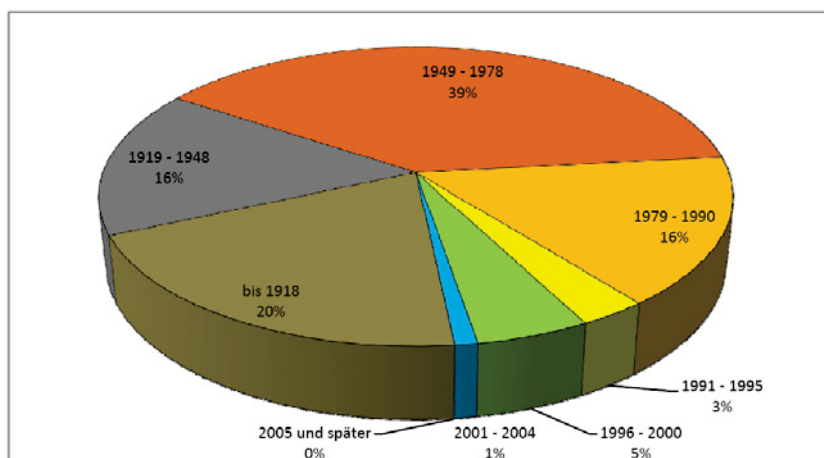


Abb. 2.6: Anteil Wohneinheiten in Mietwohneinheiten nach Baujahr in den neuen Bundesländern (Stand 2006)

Hieraus geht hervor, dass in der Zeit von 1949 – 1990 der größte Anteil an Mietwohnungen (rund 54%) errichtet wurde.

In der DDR sind seit Ende der 1950er Jahre eine große Anzahl Wohnungen industriell errichtet worden. Bei einem Wohnungsbestand von über 8 Mio. WE sind 2,17 Mio. WE seriell gebaut – eine im internationalen Vergleich überdurchschnittliche Anzahl von Neubauwohnungen in mehrgeschossigen, in Montagebauweise, gebauten Wohngebäuden.

Nachstehende Tab. 2.1 gibt einen Überblick zum Anwendungsumfang der in verschiedenen Bauseerien errichteten Wohnungen.

Tab. 2.1: Anzahl der WE in Fertigteilssystemen nach Typenserien, Baujahr und Bundesland (SCHULZE, 1996)⁹

Bauweise	Baujahr	Berlin	Brandenburg	Meckl.-Vorp.	Sachsen	Sachsen-Anhalt	Thüringen	Summe
Block 0,8 t	1958 - 1990	28.600	118.800	91.300	200.400	94.600	88.700	622.400
Block 1,1 t	1976 - 1990	600	11.000	16.700	8.800	8.200	1.800	47.100
Block gesamt		29.200	129.800	108.000	209.200	102.800	90.500	669.500
Streifen 2,0 t	1958 - 1990	3.300	7.100	0	17.900	1.500	13.200	43.000
Streifen gesamt		3.300	7.100	0	17.900	1.500	13.200	43.000
Platte 3,5 t	1958 - 1990	0	35.600	0	44.400	0	6.000	86.000
P1	1958 - 1970	3.000	5.000	0	0	0	4.500	12.500
P2 (nur 5,0 t)	1958 - 1990	16.400	81.700	21.700	66.500	88.400	88.900	363.600
P Halle	1958 - 1990	0	44.600	65.900	0	37.600	0	148.100
QP	1958 - 1985	35.000	4.100	0	3.000	500	0	42.600
WBS 70	1971 - 1990	140.000	44.200	84.600	181.800	116.200	78.100	644.900
Sonstige 5,0 t u. 6,3 t	1958 - 1990	23.100	16.200	15.800	55.000	19.600	32.100	161.800
Platte gesamt		217.500	231.400	188.000	350.700	262.300	209.600	1.459.500
Fertigteilbau gesamt		250.000	368.300	296.000	577.800	366.600	313.300	2.172.000

⁸ Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch 2008, S. 292

⁹ Mettke, Angelika; Thomas, Cynthia: Wiederverwendung von Gebäudeteilen, Materialien zur Abfallwirtschaft 1999, i. A. des Sächsisches Landesamtes für Umwelt und Geologie im Freistaat Sachsen, BTU Cottbus 1999, S. 8

Die industriell gefertigten Wohnbauten, im allgemeinen Sprachgebrauch Plattenbauten, bestimmen noch heute das städtebauliche Erscheinungsbild vieler Städte und Gemeinden Ostdeutschlands.

Die statistischen Daten zum Baubestand weisen ein enormes wirtschaftliches Potenzial aus. Aus Energie- und Ressourcensicht stellt der Baubestand einen Schlüsselbereich unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten am Bau dar.

Die Baujahre ab Ende der 1950er Jahre bis zur Jahrtausendwende in Ostdeutschland sind für die Forschungsarbeit von besonderem Interesse, da sie eminent von Leerstand betroffen oder – sofern noch nicht geschehen – energetisch aufzuwerten sind. Um den baupolitischen Zielen des Bundes Rechnung zu tragen, kommt dem nachhaltigen und energieeffizienten Bauen eine bedeutende Maßnahme zu. Deshalb sind innovative Lösungen zum Bauen im und mit dem Bestand wissenschaftlich fundiert und zukunftstauglich vorzubereiten und in die Praxis zu überführen.

3 Wohnungsleerstand – Rückbaukonzeptionen der Wohnungswirtschaft

Mit Bezug auf [9], [14], [15], [16], [17], [39], [40], [42], [44], [57] wird nachstehend auf die notwendige Bestandsveränderung in der Wohnungswirtschaft eingegangen.

Im folgenden Abschnitt wird die Leerstandsentwicklung in den neuen Bundesländern nachgezeichnet.

3.1 Wohnungsleerstände in den neuen Bundesländern

Erstmals in der jüngsten Geschichte Deutschlands ist nicht der Wohnraummangel, sondern der Überhang ein Problem. In vielen ostdeutschen Städten und Gemeinden ist eine Leerstandssituation entstanden, die es in dieser Schärfe und flächenhaften Ausdehnung bislang kaum gegeben hat. Bei einem Gesamtbestand von rd. 8,9 Mio. Wohnungen in Ostdeutschland standen im Jahr 2002 etwa 1,3 Mio. Wohnungen leer. Der massive Leerstand betrifft sowohl Alt- als auch Neubauten (im allgemeinen Sprachgebrauch Plattenbauten). Betroffen davon sind auch solche Plattenbauten, die bereits saniert und/oder modernisiert sind.

Erste Daten zur Leerstandssituation in Ostdeutschland wurden 1995 im Ergebnis durchgeführter Gebäude- und Wohnungszählungen veröffentlicht. Im Vergleich zu Westdeutschland, wo seinerzeit der Wohnungsleerstand etwa 1,5% betrug, belief sich in Ostdeutschland der Leerstand bereits auf einem relativ hohen Niveau mit durchschnittlich 6,8% (vgl. Abb. 3.1). Der Leerstand konzentrierte sich zu diesem Zeitpunkt auf Wohngebäude, die um die Jahrhundertwende bis zum zweiten Weltkrieg gebaut werden – also auf Altbauten (vgl. Abb. 3.2). Die Leerstandsursachen sind v.a. im schlechten Bauzustand und den anstehenden Sanierungsmaßnahmen zu suchen. Schon 1990 sollen ungefähr 400.000 Wohnungen im Altbau leer gestanden haben. Trotz der Wahrnehmung dieser Situation wurde diese Tatsache nicht weiter thematisiert.

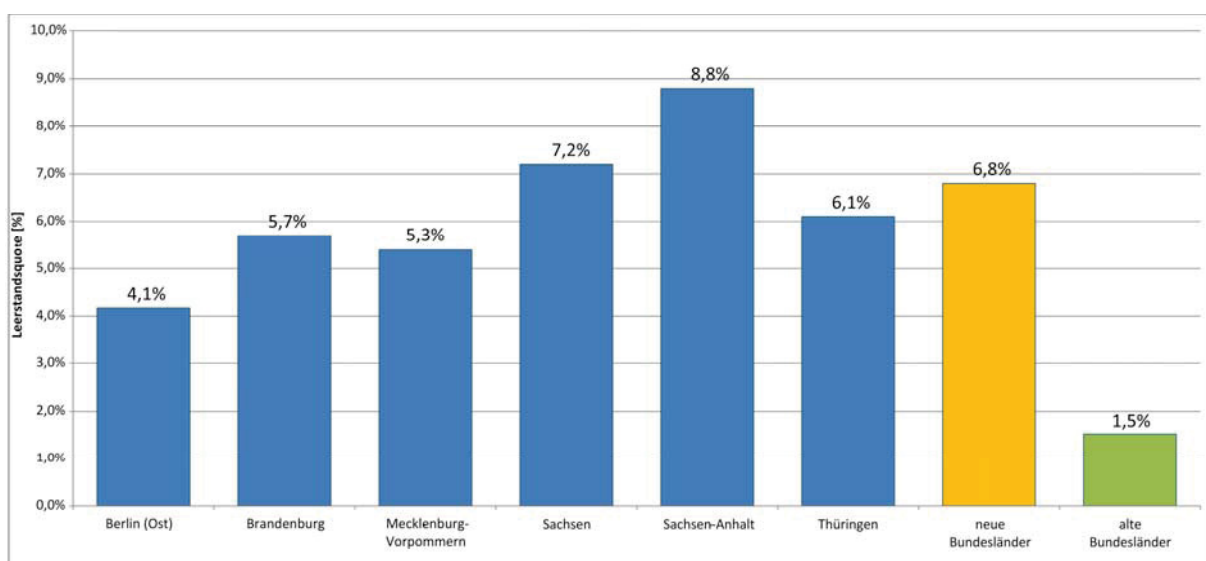


Abb. 3.1: Wohnungsleerstand 1995 in Ostdeutschland und Berlin (Ost)¹⁰

¹⁰ nach Rietdorf, Werner; Haller, Christoph; Liebmann, Heike: Lläuft die Platte leer?, Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Berlin, 2001, S. 27

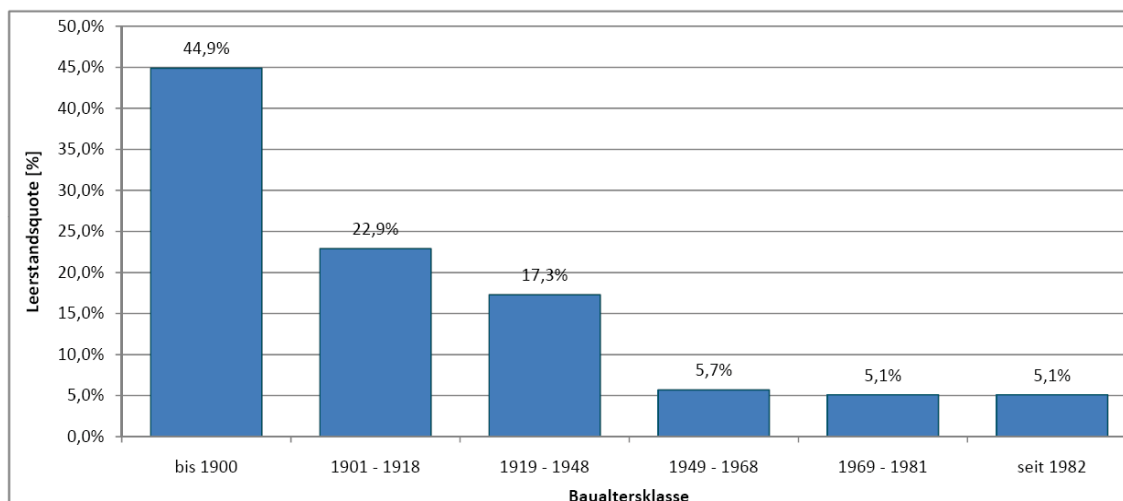


Abb. 3.2: Leerstehende Wohnungen 1995 nach Baualter¹¹

Im öffentlichen Interesse bei der Leerstandsentwicklung hingegen standen die Plattenbauten in Großsiedlungen. Denn in Städten wie Schwedt, Eisenhüttenstadt, Hoyerswerda oder Leinefelde, die nahezu ausschließlich durch industrielle Bausubstanz geprägt sind, traten Leerstände in konzentrierter Form offen zutage.

Im Erhebungsjahr 1998 standen in den industriell errichteten Gebäuden ca. 200.000 WE (rund 8%) leer (vgl. Tab. 3.1). Zum Jahresende 1999 wurde eingeschätzt, dass sich der Leerstand im Plattenbau auf ca. 300.000 WE (rund 12%) erhöht hat.

¹¹ nach Rietdorf, Werner; Haller, Christoph; Liebmann, Heike: Lläuft die Platte leer?, Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Berlin, 2001, S. 28, bearbeitet

Tab. 3.1: Wohnungsbestand und Wohnungsleerstände in Ostdeutschland 1998¹²

	Ein- und Zweifamilienhäuser		Klein- und vorstädt. Geschosswhg. 1)		Innerstädt. Geschosswhg. 2)		DDR-Wohnungsbau 3)		Neugebaute Geschosswhg. 4)		Gesamt	
	Be-stand (in 1.000)	davon Leer-stand (%)	Be-stand (in 1.000)	davon Leer-stand (%)	Be-stand (in 1.000)	davon Leer-stand (%)	Be-stand (in 1.000)	davon Leer-stand (%)	Be-stand (in 1.000)	davon Leer-stand (%)	Be-stand (in 1.000)	davon Leer-stand (%)
Berlin	170	7,2	82	9,6	634	12,1	780	5,9	98	9,1	1.820	8,5
davon: Berlin Ost	55	7,7	31	15,0	211	19,2	326	6,4	52	7,8	684	11,1
Brandenburg	489	7,4	112	22,5	64	27,9	372	8,5	58	22,5	1.158	11,2
Meck.-Vorpomm.	299	8,7	81	28,5	41	26,1	305	5,9	40	15,7	811	11,1
Sachsen	656	7,5	382	23,4	329	44,2	659	9,5	122	17,0	2.238	16,8
Sachsen-Anhalt	499	6,9	171	33,7	100	29,8	373	10,6	61	15,0	1.277	14,4
Thüringen	498	5,3	138	17,7	47	35,1	340	7,6	47	10,9	1.123	9,3
Ostdeutschland insg.	2.496	7,1	914	24,5	791	32,9	2375	8,4	380	15,4	7.290	13,2
1) Gebäude mit 3 bis 6 Wohnungen bis Baujahr 1948 2) Gründer- und Zwischenkriegszeit: Gebäude mit 7 und mehr Wohnungen bis Baujahr 1948 3) Gebäude mit 7 und mehr Wohnungen der Baujahre 1949-1990 4) Gebäude mit 3 und mehr Wohnungen, Baujahre 1991 und später Keiner Klasse zugeordnet sind damit die Wohnungen in Wohngebäuden mit 3 bis 6 Wohnungen in den Baualtersklassen 1949 bis 1990. Diese entsprechen rund 4,5% des Wohnungsbestandes mit einer leicht unterdurchschnittlichen Leerstandsquote von 12%.												
[Quelle: Mikrozensus 1998; empirica]												

Regional betrachtet, schwanken die Leerstände sowohl in den einzelnen Bundesländern (s. Tab. 3.1) als auch in den Städten. In Sachsen-Anhalt war 1998 der Leerstand im DDR-Wohnungsbau am höchsten mit 10,6% (rund 40.000 WE). Sachsen hatte zur gleichen Zeit zwar eine niedrigere Leerstandsquote von 9,5%, aber aufgrund des hohen industriell gefertigten Wohnungsbestandes (rund 659.000 WE) über 60.000 leer stehende Wohnungen.

Nachstehende Abb. 3.3 verdeutlicht, dass in den 1990er Jahren die Leerstände im industriellen Wohnungsbaubestand zugenommen haben.

¹² Pfeiffer, Ulrich; Simons, Harald; Porsch, Lucas: Wohnungswirtschaftlicher Strukturwandel in den neuen Bundesländern, Bericht der Kommission, Nov. 2000, S. 18

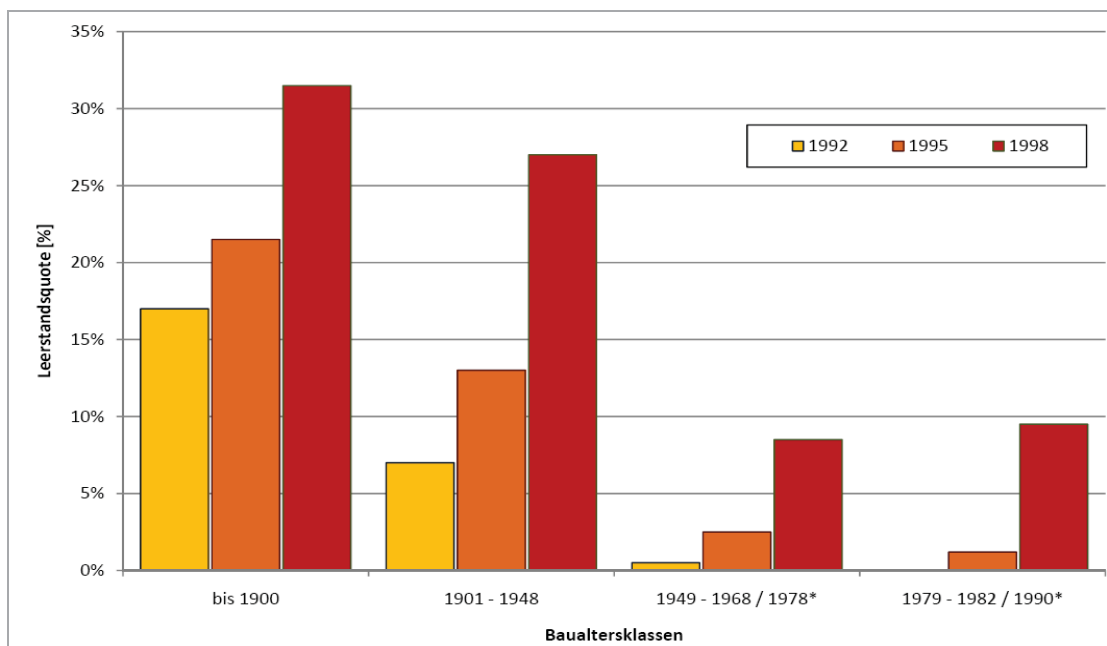


Abb. 3.3: Wohnungsleerstände im Geschosswohnungsbau in Ostdeutschland und Berlin-Ost, 1992, 1995, 1998¹³

Die von der Bundesregierung im Februar 2000 eingesetzte Expertenkommission¹⁴ – auch unter Lehmann-Grube-Kommission bekannt – und die Studien des Instituts für Regionalentwicklung und Strukturplanung (IRS) gingen von einer weiteren Verschärfung der Leerstandssituation insgesamt und im Besonderen in den Großsiedlungen aus.¹⁵ Dies bestätigte sich, denn die Leerstände stiegen seitdem drastisch an. Zur Jahrtausendwende standen etwa 1 Mio. Wohnungen leer; dies entsprach rd. 13 % des gesamten Mietwohnbestandes. 2002 erhöhte sich der Leerstand – wie o. a. – auf ca. 1,3 Mio. WE.

Nachstehende Abb. 3.4 verdeutlicht, dass der Wohnungsleerstand in den neuen Bundesländern längst kein Phänomen mehr ist. Aber auch in den alten Ländern ist durch Migrationsbewegungen, Bevölkerungsrückgang und veränderten Wohnraumwünschen ein zunehmender Wohnungsleerstand zu verzeichnen. 2006 lag laut Techem-empirica-Leerstandsindex die Leerstandsquote in Westdeutschland für marktaktive Geschosswohnungen bei durchschnittlich 2,3 %.

¹³ nach Pfeiffer, Ulrich; Simons, Harald; Porsch, Lucas: Wohnungswirtschaftlicher Strukturwandel in den neuen Bundesländern, Bericht der Kommission, Nov. 2000, S. 19

¹⁴ Rietdorf, Werner; Haller, Christoph; Liebmann, Heike: Lläuft die Platte leer?, Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Berlin, 2001, S. 30

¹⁵ Bei einem 2 bis 3%igen leerstehenden Wohnungsanteil, resultierend aus Umzügen und Baumaßnahmen im Bestand, wird eingeschätzt, dass der Wohnungsmarkt funktionsfähig ist. [BBR, Wohnungsmarktbeobachtung; www.bbr.de/nn_22382/DE/ForschenBeraten/Wohnungswesen... aufgerufen am 26.11.2008]

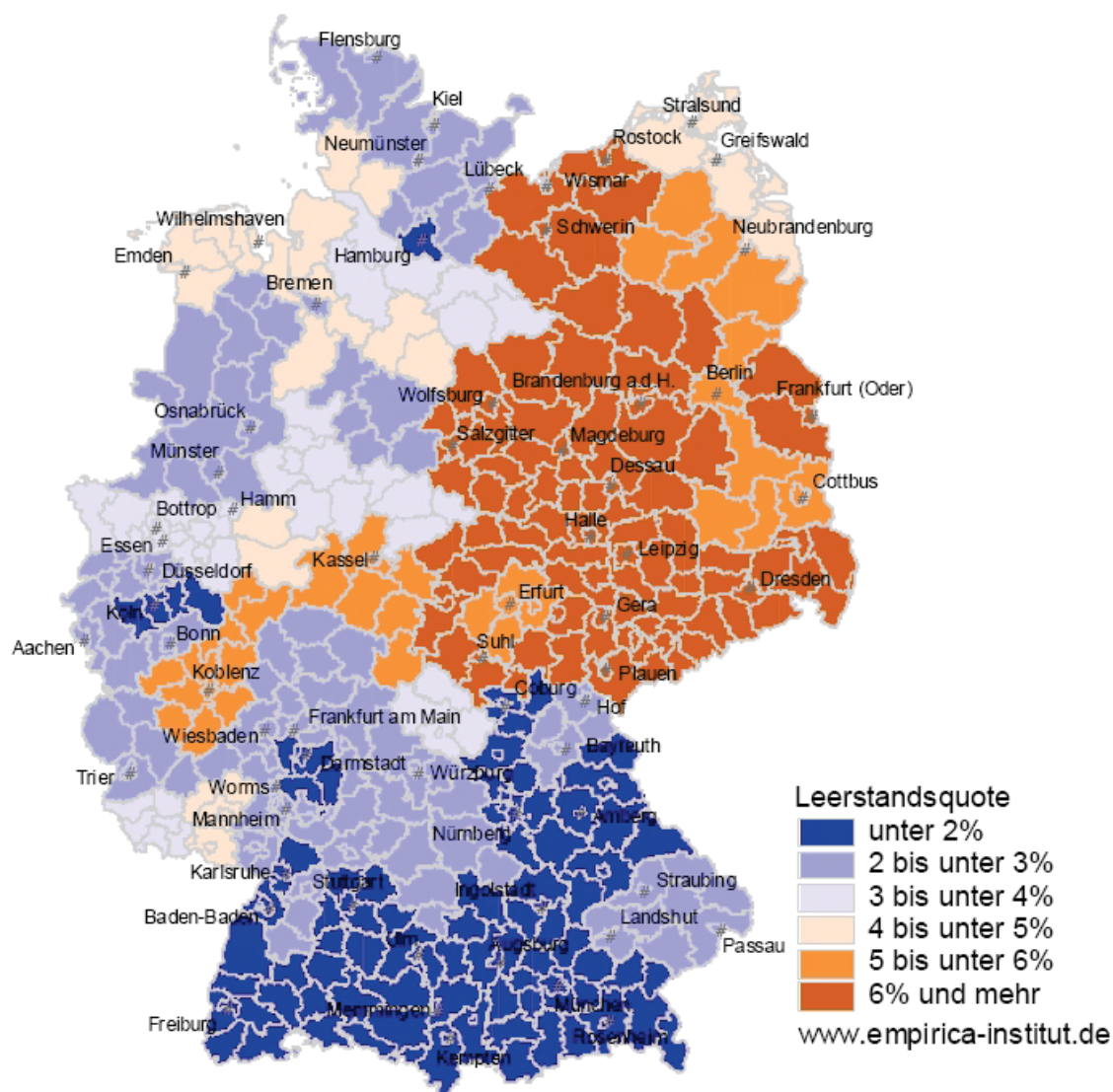


Abb. 3.4: Regionale Leerstandsquoten¹⁶

Die Entwicklung der Wohnungsleerstände im Zeitfenster 1994-2008 in den durch den Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen (GdW) bundesweit vertretenen rd. 3000 Wohnungsunternehmen ist in Abb. 3.5 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass seit 2002 die Leerstandszahlen in den neuen Ländern wieder rückläufig sind. Ende 2008 wird ein Wert von 9,9% für die Leerstandsquote erreicht werden.¹⁷

¹⁶ Techem-empirica-Leerstandsindex [www.empirica-institut.de/Kufa/TEL.pdf im Oktober 2007; aufgerufen am 28.11.2008]

¹⁷ GdW: Wohnungswirtschaft, Daten und Trends 2008/2009, Kurzfassung Nov. 2008, S. 11 [vgl. www.gdw.de]

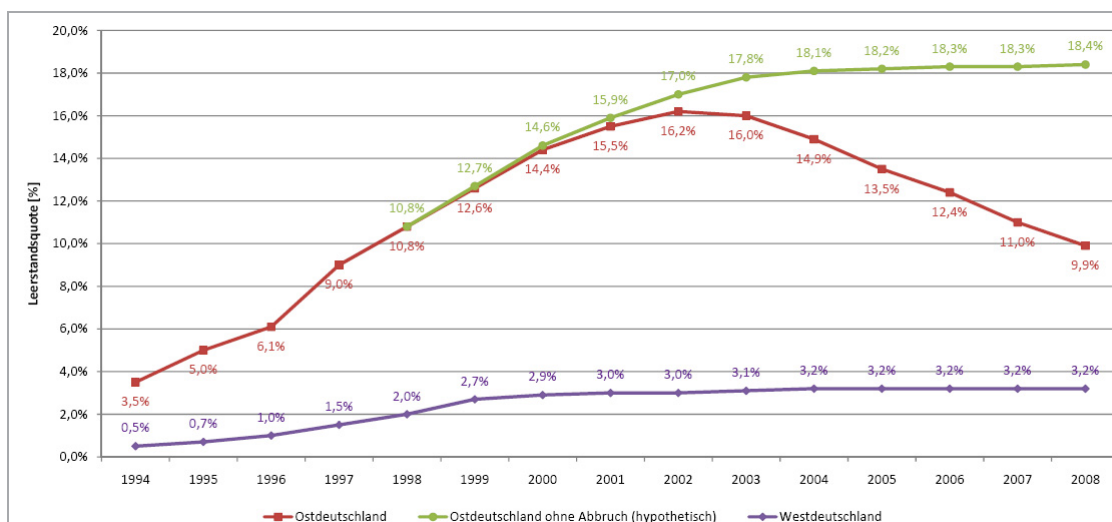


Abb. 3.5: Entwicklung Wohnungsleerstand auf den insgesamt bewirtschafteten Wohnungsbestand der im GdW vertretenen Wohnungsunternehmen¹⁸

In Abhängigkeit regionaler und lokaler Gegebenheiten betrifft der Leerstand alle Baualtersklassen und Bautypen. Die industriell errichteten Wohnbauten machen allerdings einen großen Anteil am Gesamt-leerstand aus (vgl. Abb. 3.6 DDR-Wohnungsbau).

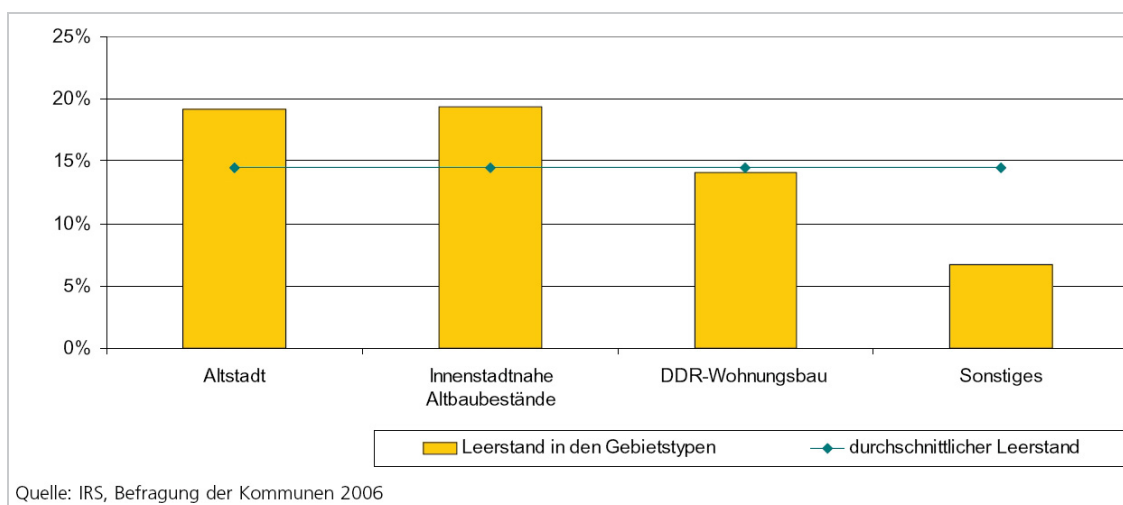


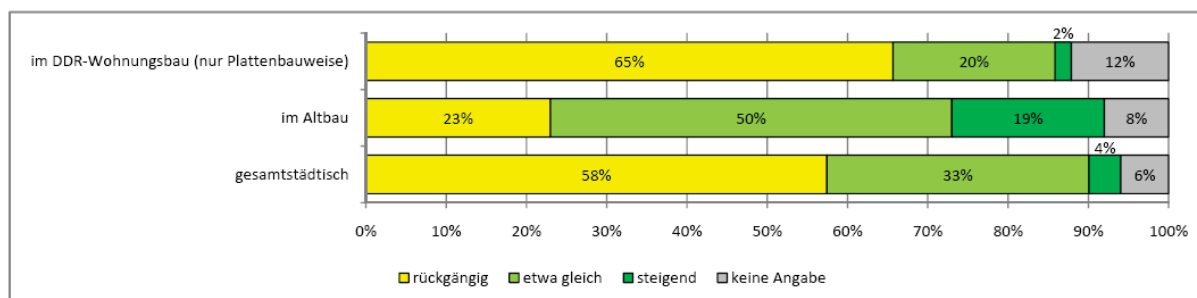
Abb. 3.6: Wohnungsleerstand in den Stadtumbaukommunen 2005 nach Gebietstypen¹⁹

Das Ergebnis zur Wohnungsnachfrage im Zeitraum 2007-2009 und bis 2017 (s. Abb. 3.7) bei Stadtumbaukommunen zeigt, dass v. a. Plattenbaubestände der DDR-Zeit weniger nachgefragt werden. Somit wird sich kaum die Leerstandssituation in diesem Wohnungsmarktsegment entspannen können. Die Nachfrage im Altbaubestand hingegen wird als stabil oder sogar steigend eingeschätzt.

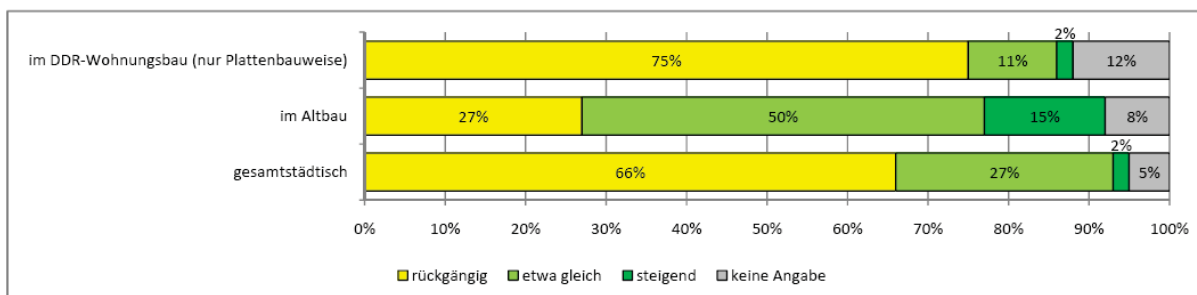
¹⁸ GdW-Jahresstatistiken siehe www.gdw.de, aufgerufen am 30.11.2008

¹⁹ 2. Statusbericht der Bundestransferstelle, 5 Jahre Stadtumbau Ost – eine Zwischenbilanz, Berlin, Mai 2007, S.28

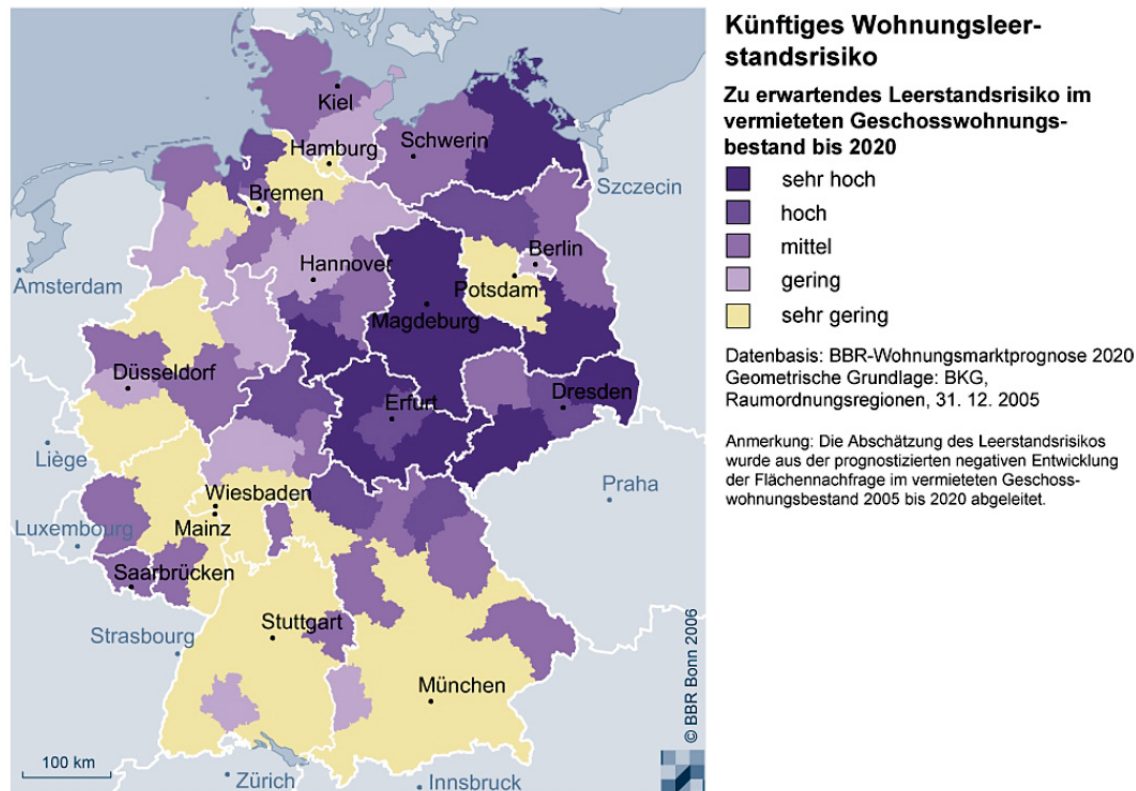
2007 – 2009



In den nächsten zehn Jahren (bis 2017)

Abb. 3.7: Bewertung der Wohnungsnachfrage in den Stadtumbaukommunen²⁰

Prognoseberechnungen zum Wohnungsleerstand im vermieteten Geschosswohnungsbestand bis 2020 machen deutlich, dass in weiten Teilen Ostdeutschlands weiterhin mit sehr hohen Leerständen zu rechnen ist (s. Abb. 3.8).

Abb. 3.8: Künftiges Wohnungsleerstandsrisiko im vermieteten Geschosswohnungsbestand bis 2020²¹

²⁰ 2. Statusbericht der Bundestransferstelle, 5 Jahre Stadtumbau, Berlin, 2007, S.30, überarbeitet

²¹ www.bbr.bund.de/nn_22382/DE/ForschenBeraten/Wohnungswesen/Wohnungs..., aufgerufen am 26.11.2008

Wohnungsleerstände in solchen eklatanten Größenordnungen gefährden nicht nur die wirtschaftliche Existenz vieler Wohnungsunternehmen sondern auch die Handlungs- und Überlebensfähigkeit vieler Städte (weitergehende Aspekte s. Kap. 3.3).

Der städtebauliche Verfall in Fragmente sowie soziale Erosion drohen, wenn dem nicht begegnet wird. Insofern gehört der Umbau und die Erneuerung der Städte – als Reaktion auf die Schrumpfungsprozesse zu den drängendsten Themen der wohn- und städtebaulichen Entwicklung.

3.2 Leerstandsursachen

Die strukturellen Leerstände sind auf mehrere Ursachen zurückzuführen; seit 1990 hauptsächlich auf:

- die räumliche Bevölkerungsbewegung
 - infolge des Wegbrechens ganzer Industrielandschaften kam es zu arbeitsbedingten Bevölkerungsabwanderungen nach Westdeutschland
 - überwiegend junge und qualifizierte Arbeitskräfte
 - von 1991 – 1999 (ohne Berlin-Ost) rund 1,4 Mio. Menschen; von 1991 – 2006 rund 2,5 Mio. Menschen.

Die Zuzüge in die neuen Länder konnten die Wegzüge nicht kompensieren. So wurde ein Wanderungssaldo für den Zeitraum 1991 – 1999 von rd. -535.000 und in der Zeit von 1991 – 2006 von rd. -1.003.000 Menschen erfasst.²²
 - infolge hoher Abwanderungen aus den Kernstädten ins Umland (Suburbanisierungsprozess),
- die natürliche demografische Entwicklung / Schrumpfung gekennzeichnet durch:
 - Geburtendefizite (Entwicklung der Geburtenziffer s. Abb. 3.9)

In den neuen Ländern kam es im Zuge der deutschen Vereinigung regelrecht zu einem Einbruch der Geburtenzahlen. Die Fertilitätsrate lag etwa Mitte der 1990er Jahre bei 0,8 auf dem bislang niedrigsten Niveau.

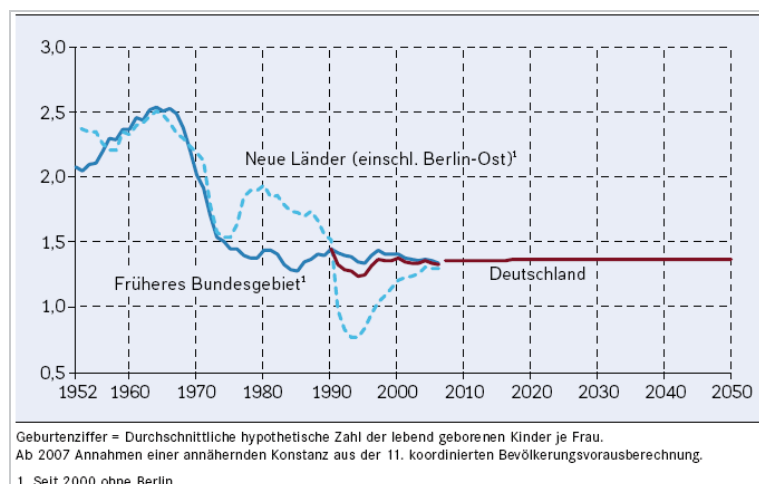


Abb. 3.9: Geburtenziffer bis 2050, Kinder je Frau²³

²² Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Destatis), Auszug aus Wirtschaft und Statistik, 1/2008, S. 43

Derzeit liegt die durchschnittliche Kinderzahl im Osten nur noch geringfügig unter der im Westen (2006: 1,33). Damit wird die zur Beibehaltung der Bevölkerungszahl erforderliche Fertilitätsrate von 2,1 Kindern je Frau unterschritten.

- den Überschuss der Gestorbenen gegenüber den Geburten (Tab. 3.2).

Tab. 3.2: Lebendgeborene und Gestorbene in den neuen Ländern²⁴

	Lebend Geborene		Gestorbene		Überschuss der Geborenen (+) bzw. der Gestorbenen (-)	
	Anzahl in 1.000	je 1.000 Einwohner	Anzahl in 1.000	je 1.000 Einwohner	Anzahl in 1.000	je 1.000 Ein- wohner
1950	304	16,5	220	11,9	+84	+4,6
1960	293	16,9	234	13,5	+59	+3,4
1970	237	13,9	241	14,1	-4	-0,2
1980	245	14,6	238	14,2	+7	+0,4
1990	178	11,1	208	12,9	-30	-1,8
2000	111	7,3	160	10,5	-49	-3,2
2002	96	7,0	150	11,0	-54	-3,9
2004	99	7,3	146	10,8	-47	-3,5
2006	96	7,3	147	11,0	-50	-3,8

(bis 2000 einschl. Berlin-Ost)

- die hohe Neubautätigkeit im Wohnungsbau ab Mitte der 1990er Jahre bis zum Jahrtausendwechsel von i. M. 98.000 Wohnungen jährlich (vgl. Abb. 3.10). Der Verlauf der Bautätigkeit ist in dieser Periode auf den starken Nachholbedarf u.a. im Ein- und Zweifamilienhausbau zurückzuführen. Mit der staatlichen Subventionierung zur Schaffung von selbstgenutzten Wohneigentum (Eigenheimzulage²⁵) wurde die Neubautätigkeit angeregt und unterstützt. Seit 2000 hat sich mehr oder minder eine Verstetigung der Bautätigkeit auf einem niedrigeren Niveau eingestellt. Im Schnitt wurden von 2001 bis 2003 35.000 Wohneinheiten pro Jahr gebaut.²⁶
- die nicht wettbewerbsfähigen (verfallenen) Altbaubestände.

²³ Grobecker, Claire; Krack-Rohberg, Elle: Auszug aus dem Datenreport 2008, Hrsg. Statistisches Bundesamt (Destatis), Bevölkerung, S. 21

²⁴ ebenda, S. 15

²⁵ Seit dem 01.01.2006 wird die Eigenheimzulage nicht mehr neu gewährt [Gesetz zur Abschaffung der Eigenheimzulage].

²⁶ Eigene Berechnungen nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Baugenehmigungen/Baufertigstellungen, Lange Reihen 2007 (endgültige Daten), Wiesbaden, 2008

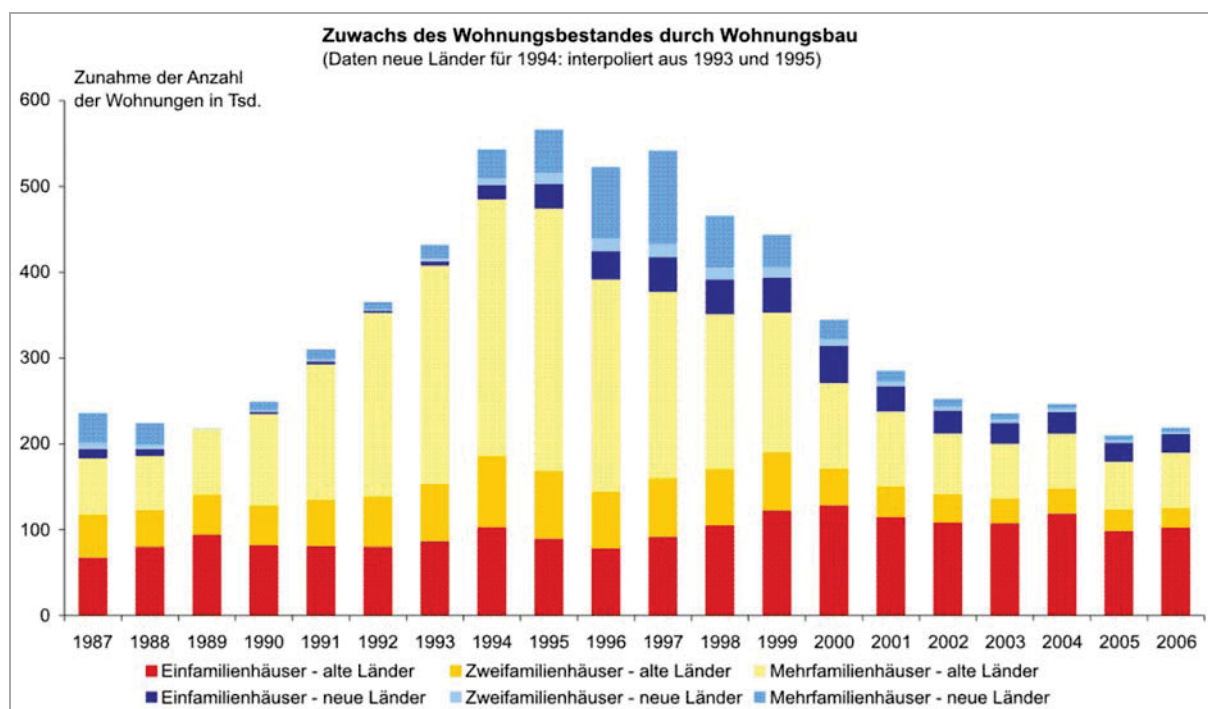


Abb. 3.10: Zuwachs des Wohnungsbestandes durch Wohnungsbau²⁷

Zusammenfassend wird festgestellt, dass der Wohnungsleerstand das Ergebnis wirtschaftspolitischer und demografischer Entwicklungen ist. Da der Leerstand auch die Überlebens- und Handlungsfähigkeit der Städte in den neuen Ländern bedroht, stehen Städte und Wohnungswirtschaft vor völlig neuen Herausforderungen.

3.3 Aufgaben der Städte und der Wohnungswirtschaft

Da die Auseinandersetzung mit dem Leerstandsproblem von höchster Vielschichtigkeit geprägt ist, sind für die Erstellung von Handlungskonzepten allumfassende und gründliche Problemanalysen vor Ort durchzuführen. Der Deutsche Städtetag²⁸ formulierte im Positionspapier vom September 2000 folgende wichtigen Aufgaben:

1. Die Erstellung kommunaler Handlungskonzepte mit dem Ziel, die städtische Innenentwicklung dauerhaft zu fördern und der Umlandzersiedelung entgegenzuwirken.
2. Auf der Grundlage der kommunalen Handlungskonzepte sind die Entscheidungen zum Abbau der Wohnungsüberhänge zu treffen.
3. Der unumgängliche Abriss/Rückbau ist so zu gestalten, dass mehr Umwelt-, Lebens- und Wohnumfeldqualität in den Städten entsteht.

²⁷ Umweltbundesamt nach Angaben des Statistischen Bundesamtes; <http://www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umweltdaten/public/document/downloadImage...>, aufgerufen am 10.12.2008

²⁸ Der Deutsche Städtetag (DST) ist der größte kommunale Spitzenverband in Deutschland, der die Interessen der kreisfreien und kreisangehörigen Städte vertritt. 4.100 Städte und Gemeinden mit 51 Mio. Einwohnern haben sich zusammengeschlossen [www.staedtetag.de, aufgerufen am 28.11.2008]

Um diese Zielsetzungen zu erreichen, wurden folgende Vorgehensweisen gefordert:

- zügige gemeinsame Erarbeitung (Städte und Wohnungsgesellschaften) notwendiger kommunaler Handlungskonzepte,
- solidarisches Verhalten aller größeren Wohnungsunternehmen Vorort,
- die Steuerung des Leerstandes innerhalb der Städte, denn ungesteuerte Leerstände führen zu weiterem Attraktivitätsverluste in der Stadt und Interessierte verlieren den Willen an Investitionen,
- eine breite öffentliche Diskussion aller Maßnahmen, die den Menschen Gelegenheit zur Mitgestaltung eröffnet.

Darüber hinaus machte der Deutsche Städtetag deutlich, dass die Leerstandsbewältigung von Bund und Länder finanziell zu unterstützen ist. Des Weiteren wurden u.a. die Stärkung der Bestandsförderung gegenüber der Neubauförderung, die Bereitstellung von Städtebaufördermitteln und der Altschuldenerlass gefordert.

Daraus ergeben sich für die Städte neuartige und allenthalben nicht einfache Aufgaben, denn es ist ein neuer Typus der Stadtentwicklungsplanung zu konzipieren und umzusetzen. Der Schrumpfungsprozess ist zu managen. Die Bevölkerungs- und Haushaltsentwicklung ist zu prognostizieren, Leerstände sowie der voraussichtliche Wohnungsneubau sind zu analysieren. Darauf aufbauend sind Entscheidungen für erforderliche Abrisse und Rückbaumaßnahmen zu treffen, Aufwertungsmaßnahmen für Alt- und Plattenbauten zu bestimmen, Flächenbedarfe sowie ihre Verortung für Neubaumaßnahmen zu ermitteln und Konzepte zur Verwertung bzw. Nachnutzung freiwerdender Flächen zu entwickeln. Damit kommt den Kommunen eine wachsende Verantwortung zu.²⁹

3.4 Programm „Stadtumbau Ost“ – wesentliches Element zur Gestaltung schrumpfender Städte und Gemeinden

Mit dem Programm „Stadtumbau Ost – für lebenswerte Städte und attraktives Wohnen“ reagierte die Bundesregierung auf den gravierenden demografischen Wandel und auf die wirtschaftsstrukturellen Veränderungen, die vielerorts in ostdeutschen Städten und Gemeinden zu bewältigen sind.³⁰

Die Kopplung der Bewilligung der Fördermittel aus dem Stadtumbau Ost-Programm an schlüssige integrierte Stadtentwicklungskonzepte unterstreicht dabei das Förderziel, einen tatsächlichen Zuzug städtischer und Wohnqualität neben dem Abbau der Wohnungsüberhänge zu erreichen. Die Ziele bestehen darin:

- intakte Stadtstrukturen zu sichern,
- Kernstädte als Wohnstandorte zu revitalisieren,
- die Wohnungswirtschaft zu stabilisieren und funktionierende Wohnungsmärkte zu schaffen.

²⁹ vgl. Pfeiffer, Ulrich; Simons, Harald; Porsch, Lucas: Wohnungswirtschaftlicher Strukturwandel in den neuen Bundesländern, Bericht der Kommission, Nov. 2000, S. 8, 77 f., 92

³⁰ Damit reagierte die Bundesregierung konstruktiv auf die Empfehlungen der Expertenkommission „Wohnungswirtschaftlicher Strukturwandel in den neuen Bundesländern“ (vgl. Kap. 2.1); Das Programm wurde am 15. August 2001 vom Bundeskabinett beschlossen.

Zur Umsetzung dieser Ziele sind die Maßnahmen auszurichten auf:

- die Beseitigung des Angebotsüberhangs,
- die Aufwertung der vom Rückbau betroffenen Viertel und
- die Konzentration von Wohnungsbauinvestitionen auf den innerstädtischen Altbau.³¹

Das Programm „Stadtumbau Ost“ ist mit einer Komplementärfinanzierung der Länder und Kommunen in Höhe von insgesamt rd. 2,5 Mrd. € von 2002 bis 2009³² derzeit das wichtigste stadtentwicklungs- und wohnungsmarktrelevante Förderprogramm in Ostdeutschland.

Die finanziellen Mittel des Stadtumbau Ost-Programms können eingesetzt werden für³³:

- „den Rückbau dauerhaft leerstehender nicht mehr benötigter Wohngebäude oder –teile. Dazu gehören:
 - Aufwendungen für das Freimachen von Wohnungen,
 - die unmittelbaren Rückbaukosten,
 - Aufwendungen für eine einfache Herrichtung des Grundstücks.
- Die Aufwertung von Stadtquartieren. Im Einzelnen können gefördert werden:
 - die Erarbeitung (Fortschreibung) von städtebaulichen Entwicklungskonzepten,
 - die Anpassung der städtischen Infrastruktur,
 - die Wieder- und Zwischennutzung der freigelegten Flächen und die Verbesserung des Wohnumfeldes,
 - die Aufwertung des vorhandenen Gebäudebestandes,
 - sonstige Bau- und Ordnungsmaßnahmen, die für den Stadtumbau erforderlich sind,
 - Leistungen von Beauftragten.“

Rückbau und Aufwertung gehören damit zu den drängenden Themen bei der Stadtentwicklung. Bis zum Jahr 2009 sollen ca. 350.000 Wohnungen vom Markt genommen werden. Damit wird erstmalig in der Geschichte der bundesdeutschen Wohnungspolitik der ersatzlose Abriss von Wohnraum subventioniert.

Gemäß der Pressemeldung des Bundesministers Tiefensee vom 17.06.2008 wird der Rückbau bis 2016 aus „Stadtumbau Ost“ für 200.000 bis 250.000 WE weiter bezuschusst.

³¹ vgl. Kabinettsvorlage 150801, Initiative der Bundesregierung zur Verbesserung der Stadt- und Wohnungsmarktentwicklung in den neuen Ländern, Programm „Stadtumbau Ost“.

³² vgl. Stadtumbau Ost – Stand und Perspektiven, 1. Statusbericht der Bundestransferstelle, BMVBS/BBR, Berlin, 2006, S. 9, 12

³³ ebenda

3.5 Strategien zur Leerstandsbekämpfung industriell errichteter Wohnbauten

Generell sind folgende Strategien (einzeln oder in Kombination) im Umgang mit dem Leerstand möglich:

STRATEGIE 1 - BESTANDSERHALTUNG UND VERÄNDERUNG DER GEBÄUDE (AUFWERTUNG)

Teilrückbau, Modernisierungs- und Sanierungsmaßnahmen, Zusammenlegung von Wohnungen, Umnutzung

Die Möglichkeiten, nutzergerecht Angebote zu schaffen, sind vielfältig. Sie reichen von Grundrissveränderungen zur Schaffung von größeren Räumen bis zur Zusammenlegung von Wohnungen (vertikal zu Maisonettewohnungen, horizontal über Türrdurchbrüche). Die Grundrisse können so verändert werden, dass auch barrierefreie Anforderungen erfüllt werden, um die Wohnungen alters- und behindertengerecht zu nutzen. Hier ist der konstruktive Aufbau der Plattenbauweise von Vorteil. Die großen Spannweiten der Tragkonstruktion machen eine flexible Raumaufteilung möglich. Trennwände/nicht tragende Wände können beseitigt und/oder leichte Wände können bei Bedarf neu gestellt werden. Die Verlagerung der innen ohne Fenster angeordneten Küchen und Bäder (z.B. P2-Typ) an die Außenwand führt zu einer weiteren Verbesserung der Wohnqualität.

Mit Conciergelösungen (Abb. 3.11.) entsteht ein Service, der von den Bewohnern gut angenommen wird. Auch Mietergärten erhöhen die Wohnqualität (s. Abb. 3.12.).



Abb. 3.11: Concierge, Cottbus



Abb. 3.12: Mietergärten, Berlin

Umnutzungen von Wohnungen für beispielsweise gewerbliche oder Dienstleistungszwecke (s. Abb. 3.13 und 3.14) können darüber hinaus zur Stabilisierung eines Quartiers beitragen.

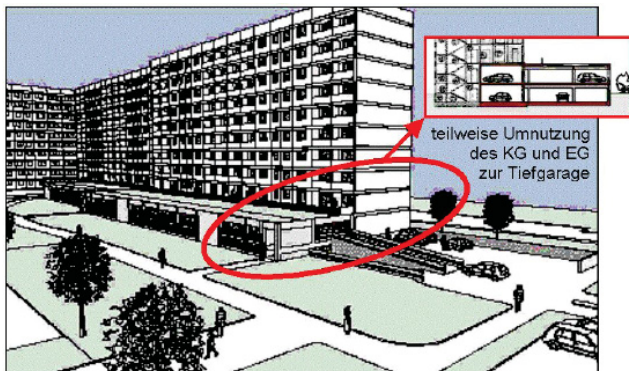


Abb. 3.13: Wohnhaus mit Tiefgarage
(Entwurf: S & P Sahlmann)³⁴



Abb. 3.14: Wohnhaus mit Tiefgarage in Plauen
(Planung: Prof. W. R. Eisentraut)

Veränderungen durch Geschossreduzierungen sind eine echte Alternative zum nachträglichen An- oder Einbau von Aufzügen bei Fünf- und Sechsgeschossern. Terrassierungen lockern nicht nur das städtebauliche Bild auf, sondern verbessern entscheidend die Wohnqualität.³⁵ Neben der Geschossreduzierung bietet die Herausnahme von Sektionen/das Ausdünnen von Karrees (s. Abb. 3.15) eine weitere Möglichkeit zum Abbau überschüssiger Wohnungen in industriell gefertigten Wohnbauten. Auch diese Maßnahme dient der Auflockerung ehemaliger monotoner Strukturen. Gleichwohl verbessern sich die Belichtungsverhältnisse für die verbleibenden Wohnungen und Schallemissionen werden vermindert.



Abb. 3.15: Dresden-Gorbitz „Kräutersiedlung“³⁶ – alter Zustand (li.), Zwischenstand (mi.), Zustand nach dem Rückbau (re.)

Bei einem partiellen Rückbau/Teilrückbau und der Modernisierung des verbleibenden Bestandes wird einerseits dem Leerstand entgegengewirkt und andererseits wird Kapital nicht nur erhalten sondern der Vermögenswert gesteigert. Außerdem kann die vorhandene technische Infrastruktur (Straßen, Wege, Beleuchtung, Medien, etc.) weiter genutzt werden. Entdichtung und Veränderun-

³⁴ s. Mettke, Angelika (Hrsg.): Anwenderkatalog II - Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendung, Cottbus, 2003, S. 56

³⁵ Eisentraut, Wolf Rüdiger: Plattenbausiedlungen. Nutzung der Substanz und nachhaltige Umgestaltung, in: Beton- und Stahlbetonbau 96, Juli 2001, S. 518

³⁶ s. Hesse, Jürgen: Erfolge und Probleme des Stadtumbaus am Beispiel Kräutersiedlung Dresden-Gorbitz, Beitrag im Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Cottbus, 2005, S. 67

gen/Staffelungen von Gebäudehöhen führen zur städtebaulichen Aufwertung der Wohngebiete. Die ehemalige Siedlungsstruktur wird in eine vollkommen neue Qualität überführt. Neben der prinzipiellen Weiternutzung des vorhandenen Bestandes ist eine Veränderung der Gebäudeformen und gleichermaßen des Wohnungsangebotes erzielbar.

Ein weiterer ganz entscheidender Vorteil des Teilrückbaus ist, dass neben dem Erhalt und der Weiternutzung der vorhandenen Bausubstanz der Frage zur weiteren Verwendung der zurück gebauten Bauelemente nachgegangen werden kann (s. Kap. 7).

STRATEGIE 2 - BESEITIGUNG / ELIMINIERUNG

Abbruch einzelner Gebäude oder flächenhaft

Der komplette Abbruch von einzelnen Wohnblöcken, Wohnzeilen, ganzen Straßenzügen oder Wohngebieten ist eine gängige Praxis (s. Abb. 3.16). Denn klassische Abbruchmethoden verursachen im Vergleich zum Teilrückbau geringere Kosten und bei Wohnungsunternehmen mit 15 % Leerstand greift zudem das Altschuldenhilfegesetz. Aber es genügt nicht, sich ausschließlich auf diese Strategie zu konzentrieren. Denn dem dringenden Handlungsdruck, der gerade hinsichtlich der Aufwertung besteht, kann nicht entsprochen werden.



Abb. 3.16: Abbruch eines 11-Geschossers vom Typ P2 mittels Hydraulikbagger und Long-Front-Ausleger in Cottbus-Sachsendorf, 2003 (li.); mittels Hydraulikbagger und Abbruchstiel in Cottbus-Stadtring, 2007 (re.)

STRATEGIE 3 – STILLEGUNG

Sicherung / Verschließen der Wohnblöcke oder einzelner Wohnungen

Das Stilllegen von einzelnen Wohnungen bzw. der obersten Etage(n) in einem Wohnblock ist eine weitere Alternative, überschüssige Wohnungen abzubauen. Die oberste Etage dient als Dachboden oder wird des Öfteren als Hobbyraum von den Bewohnern genutzt.

Das Leerziehen und Verschließen ganzer Wohnblöcke ist denkbar, verursacht jedoch auch Kosten zur Sicherung der Gebäude. Selbst das temporäre Stilllegen ist davon nicht ausgenommen.

Bleiben Gebäude über einen längeren Zeitraum ohne ausreichende Sicherung und Wartung leerstehend stellen sich enorme Bauschäden – nicht zuletzt durch Vandalismus hervorgerufen – und unerwünschter Baumbewuchs ein. Solche Gebäude sind dem baulichen Verfall preisgegeben.

Aus wohnungswirtschaftlicher Sicht ergeben sich je nach Entscheidung der Strategie wirtschaftliche (Kosten, Erlöse, Wertveränderungen) und soziale Folgen. Dazu zählen³⁷

- bei Entscheidung zum Abriss/Rückbau (= Strategie 2):
 - Kosten für Außerbetriebsetzung von Ver- und Entsorgungsmedien,
 - Kosten für Mieterumsetzungen (Umzugsentschädigungen, Freimachungsprämien, Herrichten neuer Wohnungen)
 - Kosten des Abbruchs (Planung, Genehmigung, Ausführung, Entsorgung),
 - Ausfall von Mieteinnahmen,
 - Kapitaldienst bedienen (Zins und Tilgung der Restschulden, Hypotheken),
 - Kapitalverlust,
 - Verbesserung der Liquidität nach Abriss durch z.B. reduzierte Grundsteuer für unbebautes Grundstück, verminderte Bewirtschaftungs- und Verwaltungskosten,
 - soziale Erosion durch sinkende Identifizierung mit dem verbleibenden Wohnbestand im Quartier etc.,
- bei Entscheidung zum Teilrückbau und Erhaltung des verbleibenden Bestandes inkl. dessen Modernisierung (= Strategie 1):
 - Kosten für die partielle Außerbetriebsetzung von Ver- und Entsorgungsmedien,
 - Kosten für ggf. temporäre Mieterumsetzungen (Zwischennutzungsmöglichkeiten schaffen, Umzugsentschädigungen) sofern Teilrückbau und Modernisierung im unbewohnten Zustand realisiert wird; ggf. temporärer Ausfall von Mieteinnahmen,
 - temporärer Ausfall von Mieteinnahmen,
 - Rückbau- und Modernisierungskosten,
 - Kosten für die Verbesserung der Qualität des Wohnumfeldes,
 - Kapitaldienst bedienen,
 - Kapitalwert wird erhöht nach Fertigstellung der Maßnahmen,
 - Stabilisierung der Mieteinnahmen,
 - zufriedene Mieter durch Identifizierung mit dem Wohnquartier,

³⁷ kein Anspruch auf Vollständigkeit

- Bei Entscheidung zur Stilllegung des Bestandes (= Strategie 3):
 - Kosten für Mieterumsetzungen,
 - Kosten für Außerbetriebsetzung der Ver- und Entsorgungsmedien,
 - Kosten für technische Sicherung des Gebäudes sowie für Wartung,
 - Ausfall von Mieteinnahmen,
 - Kapitaldienst bedienen,
 - Gefahr durch soziale Erosion.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Strategie 1 - Teilrückbau mit Aufwertung des verbleibenden Wohnbestandes gekoppelt mit einer sinnvollen Nachnutzung der anfallenden Bauteile - im Vergleich zur Beseitigung (Strategie 2) und zur Stilllegung (Strategie 3) die weitaus interessantere und nachhaltigere Lösung beim Stadtumbau ist. Ein zentraler Vorteil des Teilrückbaus besteht darin, dass neben der Bestands-(Ressourcen-)nutzung die infrastrukturellen Einrichtungen wie Straßen, Wege und Versorgungsmedien weitergenutzt werden können. Nachweislich ist auch, dass Plattenbauten reformierbar sind resp. marktfähig verändert werden können. Das betrifft die Auflösung des ehemals monotonen Erscheinungsbildes genauso wie bedarfs-/nachfragegerechte Veränderung der Wohnungsgrundrisse/Wohnungszuschnitte. Ersteres trägt zur Auflockerung der stringenten Bebauungsstruktur und zur Verringerung der Bebauungsdichte bei wie auch zur Verbesserung der Belichtungs- und Schallverhältnisse.

Werden zudem die beim Teilrückbau anfallenden Bauteile sekundär nachgenutzt, so ergeben sich Synergien sowohl in ökonomischer als auch in ökologischer Hinsicht (vgl. Kap. 7 und 8).

Abbruchmaßnahmen (Strategie 2) werden zwar nicht zu umgehen sein bzw. haben dann ihre Berechtigung, wenn dadurch die städtebauliche Qualität verbessert wird oder wenn dem Bauverfall entgegengewirkt werden muss.

Ebenso wenig ist das Stilllegen von Gebäuden eine tragfähige Lösung. Es kann davon ausgegangen werden, dass selbst die Stilllegung des obersten Geschosses eines Wohngebäudes auf Ausnahmen beschränkt bleiben wird.

Deutlich wird hier, dass der Abbruch/Rückbau nicht zuletzt auch mit der Problematik einer adäquaten Abfall- und Produktbehandlung einhergeht.

3.6 Status der Umsetzung der Stadtumbauziele in Ostdeutschland und Perspektiven

Angesichts des massiven Wohnungsleerstandes und des sich daraus ergebenden Problemdrucks in ostdeutschen Städten und Gemeinden sowie der vorhandenen Förderanreize für den Abriss konzentrieren sich die Kommunen und Wohnungsunternehmen bei der Umsetzung des Stadtumbau Ost-Programms auf die Bestandsreduzierung. Dabei bilden industriell errichtete Wohnbauten der 1970er und 1980er Jahre den Schwerpunkt. Dem 3. Statusbericht der Bundestransferstelle ist entnehmbar, dass per 31.12.2007 knapp 198.000 Wohnungen mit Mitteln des Programms Stadtumbau Ost und ~ 23.500 Wohnungen aus landesspezifischen Förderprogrammen abgerissen wurden (vgl. Tab. 3.3).

Tab. 3.3: Realisierter Abriss von Wohnungen im Rahmen des Stadtumbaus in Ostdeutschland³⁸

Land	Abriss von Wohnungen per 31.12.2007 (in Wohneinheiten) mit Mitteln aus		
	Landesprogrammen	Bund-Länder- Programm Stadtum- bau Ost	Gesamt
Berlin		2.485	2.485
Brandenburg	4.731	34.298	39.029
Mecklenburg-Vorpommern		16.290	16.290
Sachsen	14.471	68.535	83.006
Sachsen-Anhalt		45.645	45.645
Thüringen	4.328	30.482	34.810
Summe	23.530	197.735	221.265

Mittels Abbruch kann zwar schnell der Wohnungsüberhang abgebaut werden, aber Fragen der Gestaltung und Nutzung der großen freigewordenen Flächen, die Auswirkungen auf die technische Infrastruktur und des Erhalts eines geschlossenen Orts- und Stadtbildes werden dabei oftmals unzureichend beantwortet. Die Bewohner der betroffenen Städte bringen dies nicht selten mit einem „Aus“ ihrer Stadt in Verbindung.

Diese Zwischenbilanz erweckt den Eindruck, dass Stadtumbau mit Abriss gleichgesetzt oder als Konsolidierungsmaßnahme der Wohnungswirtschaft gewertet wird bzw. wohnungswirtschaftliche Sachzwänge die Prioritäten bei der Umsetzung des Stadtumbaus vorgeben.³⁹

Das ursprünglich verfolgte Ziel, beim Stadtumbau die Fördermittel hälftig für Abbruch und Aufwertungsmaßnahmen zu verwenden, hat sich zugunsten des Abrisses verschoben. Abrissmaßnahmen von Wohnraum als dominierende Strategie beim Stadtumbau verfehlt damit die Gesamtzielsetzung. Das Verhaltensmuster „erst Beseitigung, dann Aufwertung“ geht nicht auf, weil mit Abbruch allein, die mehrdimensionalen Problemlagen nicht lösbar sind. Deshalb ist es unabdingbar, parallel Aufwertungsmaßnahmen zu realisieren. Insofern kommt dem Teilrückbau gekoppelt mit Modernisierungs- u./o. Sanierungsmaßnahmen eine spezielle Bedeutung zu. Gestützt wird diese Alternative nunmehr auch durch den 2. Statusbericht der Bundestransferstelle Stadtumbau Ost⁴⁰, weil damit nicht nur die Attraktivität und das Image der Wohnquartiere verbessert, sondern gleichwohl eine städtebauliche Aufwertung erzielt wird.

Perspektivisch gesehen, sind schlüssige zukunftsverträgliche Gesamtkonzepte mit einer optimalen Vernetzung der Interessen aller am Stadtumbau beteiligten Akteure zu entwickeln. Die vielfältigen Veränderungsmöglichkeiten, die der Plattenbau bietet, sollten zukünftig besser genutzt werden als bisher. D.h. eine zukunftsfähige, nachhaltige Entwicklung wird darin gesehen, solche Gebäudekategorien nicht wie üblich abzubauen, sondern krangeführt resp. baukastenmäßig zu zerlegen bzw. rückzubauen. Die dabei anfallenden/zurückgewonnenen Bauelemente/Platten sind nicht wie gewöhnlich

³⁸ 3. Statusbericht der Bundestransferstelle: Perspektiven für die Innenstadt im Stadtumbau, BMVBS/BBR, Juni 2008, S. 14

³⁹ vgl. Liebmann, Heike: Stadtumbau Ost: Umdenken erforderlich, www.schrumpfende-stadt.de/magazin/0402/8Liebmann.htm, aufgerufen am 02.11.2008

⁴⁰ 2. Statusbericht der Bundestransferstelle, 5 Jahre Stadtumbau, Berlin, 2007, S.42 ff.

einer Recyclinganlage zuzuführen, um sie zu zerschreddern, sondern diese sind für eine wiederholte Verwendung vorzusehen. Diese Vorgehensweise hat im Vergleich zum herkömmlichen Abbruch den Vorteil – und das ist entscheidend –, dass die Bauelemente in Gänze, d.h. in Form und Gestalt erhalten bleiben können. Die industriell errichtete Bausubstanz bietet optimale Voraussetzungen für diese höchstwertige Recyclingform (Produktrecycling). Die Analysen, die in diesem Zusammenhang durchgeführt wurden, bieten eine fundierte Basis für Wieder- und Weiterverwendungsmaßnahmen. Ausgewählte Ergebnisse sind in den folgenden Kapiteln dokumentiert.

4 Rückbau von Plattenbauten – Machbarkeit, Anforderungen, ausgewählte Ergebnisse

Nachfolgend wird auf den krangeführten Rückbau von in Montagebauweise errichteten Gebäuden eingegangen. Die Untersuchungsergebnisse basieren auf rückbaubegleitenden Untersuchungen von verschiedenen Bautypen an mehreren Standorten in den neuen Bundesländern. Hierbei wird auf die beispielhaft kennzeichnenden Veröffentlichungen [6], [14], [16], [19], [24], [25], [28], [29], [33] bis [37], [40], [46], [51], [54], [57], [58] Bezug genommen.

4.1 Einleitung und Grundsätzliches zum Rückbau

Der krangeführte Rückbau von industriell gefertigten Gebäuden als eine besondere Form des Abbruchs (vgl. Abb. 4.2) ist bei Bestandsveränderungen die einzig in Frage kommende Technologie, um den verbleibenden Gebäudebestand nicht zu beschädigen. Teil- bzw. partielle Rückbaumaßnahmen erfolgen entweder horizontal durch den geschossweisen Rückbau einzelner Etagen oder/und vertikal durch die Herausnahme von einzelnen Gebäudesegmenten (vgl. Abb. 4.1) oder Verbindern. Des Weiteren ist es möglich, in Teilbereichen die Fassade zu öffnen, in dem einzelne Außenwände demontiert werden. Das Ziel hierbei besteht darin, bestimmte Wohnräume zu vergrößern, bspw. durch den Anbau von Erkern.

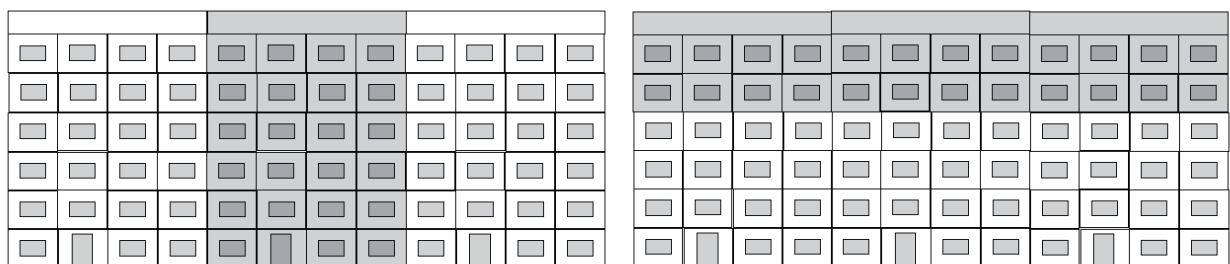


Abb. 4.1: Schematische Darstellung möglicher Teilrückbauvarianten

Für die Beseitigung kompletter Gebäude wird ein krangeführter Rückbau i. d. R. nicht in Betracht gezogen, es sei denn spezifische Rahmenbedingungen wie z. B. kontaminierte Bausubstanz, nutzungsbedingte Einschränkungen oder konstruktive Erfordernisse bedingen es. Ein krangeführter Rückbau bedarf im Vergleich zum klassischen Abbruch einer umfangreicheren Planung, Vorbereitung und Ausführung. Die Gründe liegen in den höheren technischen, technologischen und sicherheitstechnischen Anforderungen.

Während Rückbaumaßnahmen in den ersten Jahren generell im unbewohnten Zustand realisiert wurden, zeichnet sich in jüngster Vergangenheit eine Zunahme von Maßnahmen auch unter bewohnten Bedingungen ab. Der Abtrag der oberen Geschosse im bewohnten Zustand sichert einerseits den Mieterbestand – dient also den betriebswirtschaftlichen Interessen der Wohnungsunternehmen – und andererseits der Herausbildung neuer architektonischer Qualitäten – dient somit der städtebaulichen Entwicklung.

Der Rückbau unter bewohnten Bedingungen kann sowohl mit als auch ohne Sicherheitsgeschoss realisiert werden.⁴¹

Der Fokus der wissenschaftlichen Fragestellung zum Rückbau lag anfangs darin, zu analysieren, ob die industriell errichtete Wohnbausubstanz überhaupt rückbaufähig ist. Denn die Bauserien sind a priori nicht demontabel errichtet worden (vgl. Tab. 2.1; Abb. 4.3, 4.4). Erst in zweiter Instanz konnte dann der Fragestellung des Innovationswertes, der vielversprechenden Lösungsansätze auf ihrem Weg von der Planung bis in die Baupraxis aktiv begleitet werden. Parallel dazu wurden unter Zuhilfenahme von eigenständig entwickelten Entscheidungshilfen den adäquaten Fragen der hochwertigen Nachnutzung nachgegangen (s. Kap. 6 bis 8).

4.2 Begriffliche Klärung Rückbau

Bevor auf ausgewählte Aspekte des Rückbaus von industriell gefertigten Bauten eingegangen wird, werden Fachtermini geklärt, um Missverständnisse und verschiedene Interpretationen in der Fachwelt auszuräumen. Denn Rückbau wird in der Praxis des Öfteren mit selektivem Abbruch gleichgesetzt. Dass dies nicht so ist, geht aus nachstehender Erläuterung hervor.

Der **Rückbau** ist eine besondere Form des Abbruchs (s. Abb. 4.2) und wird durch die Attribute krangeführt oder bauelementeorientiert spezifiziert. Der krangeführte Rückbau ist dem Begriff Demontage gleichzusetzen.

Gemäß der DIN 18007⁴² wird die Demontage wie folgt definiert: „Die Bauteile werden durch Lösen der Verbindungen voneinander getrennt und zerstörungsfrei ausgebaut.“ Als hauptsächliche Anwendungsgebiete für Demontagen werden die Verminderung von Schadstofffreisetzungen und die Sicherung für die Sekundärnutzung angegeben.

Der krangeführte Rückbau bzw. die Demontage⁴³ ist demzufolge ein kontrolliertes Verfahren zum Zwecke des systematischen Ab- oder Rückbauens von in Fertigteil-/Montagebauweise errichteten Bauten mit Hilfe von Hebezeugen resp. –anlagen. Dies entspricht der Gesamtheit aller Vorgänge, die der Vereinzelung von Erzeugnissen zu Bauteilen durch Trennen dienen. Im Prinzip ist die Demontage der umgekehrte Vorgang zur Montage bei Beachtung spezieller technisch-technologischer und sicherheitstechnischer Besonderheiten. Die Bauteile werden durch Lösen der Verbindungen und/oder Öffnen der Fugen voneinander getrennt und zerstörungsarm ausgebaut.

⁴¹ vgl. Primm, Ingolf: Rückbau unter bewohnten Bedingungen sicher und wirtschaftlich bewältigen – Vorbereitung, Handlungsoptionen, Medienversorgung – Fallbeispiel Meerane, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design“ Teil 2, Hrsg. Angelika Mettke, 2008, S. 47-59;

Gottschling, Dietmar: Rückbau unter bewohnten Bedingungen sicher und wirtschaftlich bewältigen am Fallbeispiel Meerane – aus Sicht der Baurealisierung, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design“ Teil 2, Hrsg. Angelika Mettke, 2008, S. 61-63, Auf diese Besonderheit wird hier jedoch nicht im Einzelnen eingegangen. Als weitere Literaturquelle kann herangezogen werden: Mettke, Angelika; Sören Heyn; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1: Krangeführter Rückbau, 2008, S. 161 ff.

⁴² DIN 18007: 2005-05 Abbrucharbeiten – Begriffe, Verfahren

⁴³ Mettke, Angelika (Hrsg.): Rahmentechnologie, Rückbau- / Demontagevorhaben Plattenbauten, 2004, S. 8

Charakteristisch für Rückbau- bzw. Demontagearbeiten sind:

- das Objekt wird / kann während der Maßnahme betreten und / oder befahren werden,
- neben dem Einsatz von Hebezeugen werden manuelle und maschinelle Abbruchverfahren erforderlich (bspw. Stemmen, autogenes Brennschneiden),
- das Freilegen der Tragösen der Betonelemente, das Öffnen der Fugen und das Durchtrennen der Verbindungen.

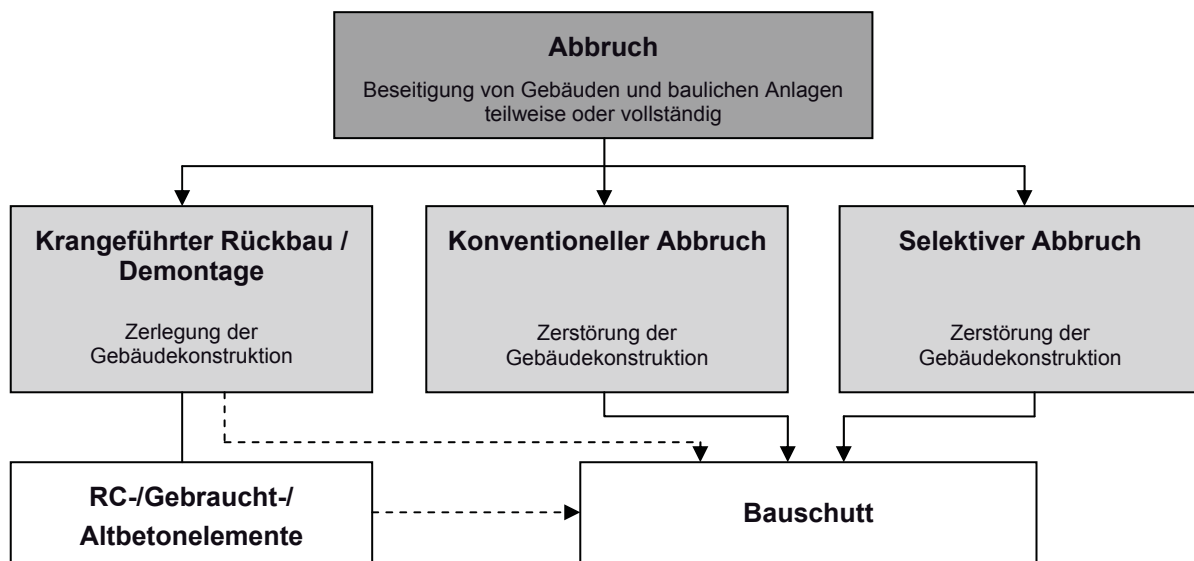


Abb. 4.2: Schematische Darstellung der Zuordnung des krangeführten Rückbaus als spezifische Form des Abbruchs

Der entscheidende Unterschied zwischen Rückbau / Demontage und selektivem Abbruch besteht darin, dass bei Erstgenannten die Gebäudekonstruktion behutsam zerlegt wird und bei Zweitgenannten die Gebäudekonstruktion zerstört wird.

Der selektive Abbruch unterscheidet sich vom konventionellen in der Art, dass eine Beräumung und Entkernung zwingend ist, um Baumaterialien und –stoffe sortenspezifisch erfassen und entsorgen zu können. Beim konventionellen Abbruch hingegen bestehen keine zwingenden Anforderungen.

Unter teilweisen Abbruch und teilweisen Rückbau wird der Teilabbruch bzw. der Teilrückbau resp. partielle Rückbau von bestimmten Bauwerksabschnitten, Bauwerksteilen oder Bauelementen verstanden, ohne die Standsicherheit des verbleibenden Baubestandes zu gefährden. Während der Abbruch – unabhängig ob komplett oder nur teilweise – immer eine Zerstörung der zu beseitigenden Bausubstanz bewirkt, bleibt beim Teilrückbau die Bausubstanz erhalten.

Vollständiger Abbruch oder Totalabbruch bedeutet die komplette Beseitigung eines Bauwerks oder einer baulichen Anlage.

4.3 Konstruktive Merkmale der industriell errichteten Wohnbauten in den neuen Ländern

Nachstehend wird nur auf einige ausgewählte konstruktive Merkmale eingegangen, die sowohl für die Demontage als auch für die Remontage (vgl. Kap. 7) relevant sind.⁴⁴

Vorherrschendes Konstruktionssystem des industriellen Wohnungsbaus ist die Wandbauweise. Nur vereinzelt wurden Wohnbauten in Stahlbetonskelettbauweise oder als Montagebau mit Gleitkern, als Raumzellenbauweise oder im Lift-Stab-Verfahren (Deckenhubverfahren) errichtet. Aber auch Kombinationen von Wand- und Skelettbauweisen wie bspw. Wohngebäude mit Funktionsunterlagerungen wurden gebaut.

Die Entwicklung der Industrialisierung des Wohnungsbaus erfolgte in der DDR in mehreren Stufen von der Blockbau- über die Streifenbau- bis hin zur Plattenbauweise resp. Großtafelbauweise⁴⁵ (vgl. Abb. 4.3). Der Vorteil der Wandbauweise liegt in der günstigen Kopplung von raumtrennender und tragender Konstruktion.

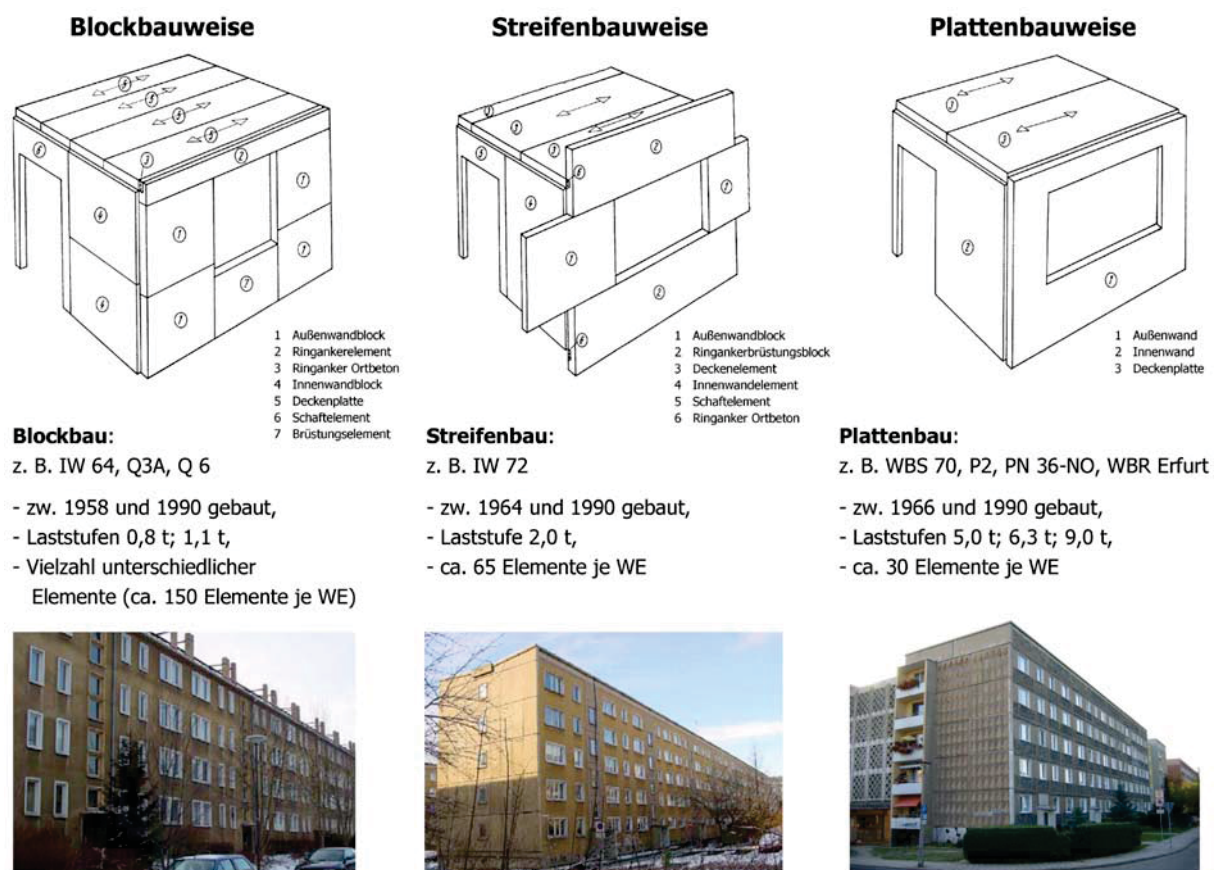


Abb. 4.3: Konstruktionsprinzipien der industriellen Bauarten im Wohnungsbau in den neuen Ländern

⁴⁴ Umfassend werden die konstruktiven Merkmale in der Rahmentheorie Rückbau-/ Demontagevorhaben Plattenbauten – am Beispiel der Typenserie P2, Hrsg. Angelika Mettke, 2004, S. 28-38 und in: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1: Krangeführter Rückbau, Angelika Mettke et. al., 2008, S. 22 - 117, dargestellt.

⁴⁵ nach: IEMB: Leitfaden für die Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäuden in der Plattenbauweise – Blockbauart 0,8t/ - Blockbauart 1,1t/ -Typenserie P2, 5,0t, Hrsg. Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, 1992/93

Jede der errichteten Gebäudeserien ist gekennzeichnet durch

- standardisierte Bauelemente,
- vereinheitlichte Laststufen für Vorfertigung, Transport und Montage,
- einen hohen Vorfertigungsgrad.

Man sieht sich also einer großen Anzahl gleichartiger Gebäude gegenüber, die generelle Verfahrenslösungen zum Rückbau erlauben.

Die wesentlichen Unterschiede der Bauarten (alte Bezeichnung: Bauweisen) lassen sich wie folgt darstellen:

Der **Blockbau** ist gekennzeichnet durch eine Vielzahl unterschiedlichster Elemente (ca. 150 Stück je Wohnung (WE), nur halbgeschosshohe Wandblöcke), die in relativ langer Bauzeit ($\approx 0,6$ WE je Schicht mit 7 AK) zusammengesetzt wurden.

Die tragenden Wände werden aus Elementen, deren Höhe $\geq 0,80$ m und Breite $\geq 0,70$ m beträgt, gebildet. In einem Geschoss sind nur bis zu drei Wandelementen übereinander angeordnet. Der Anteil an manueller Arbeit, insbesondere zur Ausbildung des bewehrten Ortbeton-Ringankers, den zahlreichen Lager- und Stoßfugen sowie dem nachträglichen Ausbau (Fenster, Türen), war durch den geringen Vorfertigungsgrad und die kaum ausgebildete Komplettierung der Elemente sehr hoch. In Blockbauweise wurden Gebäude mit drei bis fünf Geschossen (je Geschoss zwei oder drei Wohnungen) errichtet.

Mit der Weiterentwicklung der Blockbauweise entstanden Wandbauten der Laststufe 2,0 t in **Streifenbauweise**. Die Innenwandelemente sind geschosshoch; die Streifen haben eine Breite von 1,20 m bis 1,80 m und sind etwa 5 m² groß. Wegen der höheren Laststufe wurden nur noch 65 Elemente je WE benötigt, so dass je Schicht 0,9 bis 1,1 Wohnung montiert werden konnten.

Die 1957 in Hoyerswerda eingeführte **Plattenbauweise** (auch als Großtafelbauweise bezeichnet) ist den bisher dargestellten Konstruktionsarten überlegen. Die Plattenbauweise mit Laststufen von 5,0 t, 6,3 t und auch 9,0 t (Raumzellenbauweisen wie z. B. Re-„Niesky 69“, „Dresden II“, „Oranienburg“) ist gekennzeichnet durch raumgroße Außen- und Innenwände, halbraumgroße Deckenplatten, großformatige Dachplatten, eine systematische Reduzierung der Sonderelemente und einen hohen Komplettierungsgrad. Daher wurden durchschnittlich nur noch 30 Elemente je WE bei einer Montage von 1,1 bis 1,4 WE je Schicht benötigt. Die Verbindung der Elemente erfolgt über Verschweißung und Mörtelfugen (vgl. Abb. 4.4).

Die Verbindung der Fertigteile zu aussteifenden Scheiben erfolgte geschossweise durch Ringanker, die innerhalb der Sturzbewehrung in den Außenwänden angeordnet und mit der Ringankerbewehrung der Innenwände durch Schweißen verbunden sind.

Bei vielgeschossigen Gebäuden (ab 11 Geschosse) ist zudem in den Innen- und Giebelwänden ein zweiter Ringanker „Bauchbinde“ angeordnet – Verbindung der Außenwände in Brüstungshöhe. Die Stirnseiten der Wände weisen eine Verzahnung zur Übertragung der Schubkräfte auf (Zähne mit Rundstahlschlaufen, die überlappen und „vernäht“ wurden).⁴⁶

⁴⁶ Mettke, Angelika: Stadtbau durch Rückbau von Plattenbauten und (Wieder-)Neubau, Vortrag am 21.09.2001 in Travemünde anlässlich der Abbruchtagung des Deutschen Abbruchverbandes

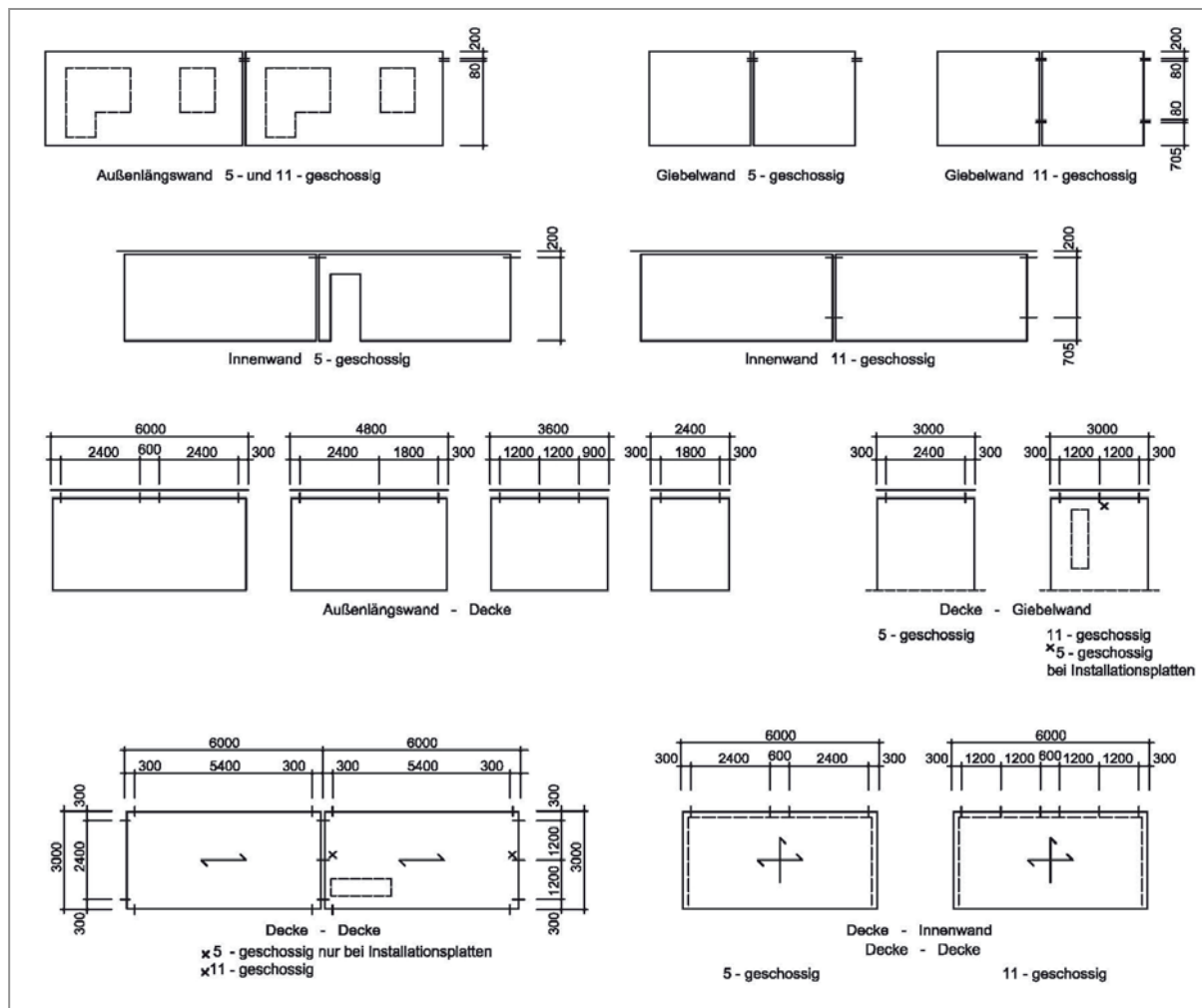


Abb. 4.4: Schematische Darstellung der Lage der Schweißverbindungen der Plattenbauelemente⁴⁷

Die betrachteten typisierten Bauweisen Block-, Streifen- und Plattenbauten weisen Unterschiede betreffs der Verbindungen untereinander und innerhalb einer Bauart auf.

Bei der Block- und Streifenbauweise gewährleisten die Verbindungen der Elemente über eine Ringanker- und Deckenverschweißung sowie Mörtelfugen bzw. Mörtelschlösser die statisch notwendigen Scheibenwirkungen. Ggf. wurden außerdem über Ankereisen in Brüstungselementen die Elemente untereinander verbunden.

Bei der Plattenbauweise ist die Ringankerbewehrung im Sturzbereich der Wandelemente integriert worden (vgl. Abb. 4.5).

Mit Hilfe von Zulagestählen wurden die Verbindungen untereinander hergestellt (Abb. 4.6) und mittels Fugenvergussbeton geschlossen. Auch die Deckenelemente sind untereinander längs- und stirnseitig mehrfach miteinander verbunden (Abb. 4.4, 4.6) und mit Beton zu einer Deckenscheibe vergossen worden.

⁴⁷ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1: Krangeführter Rückbau, 2008, S. 82

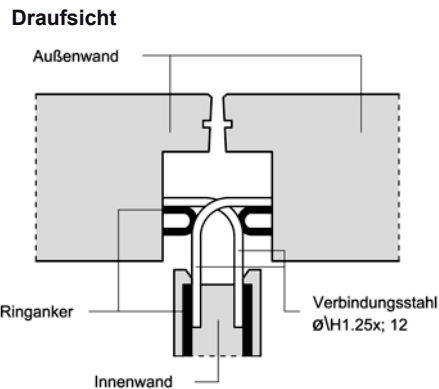


Abb. 4.5: Verbindung Außenwände – Innenwand⁴⁸

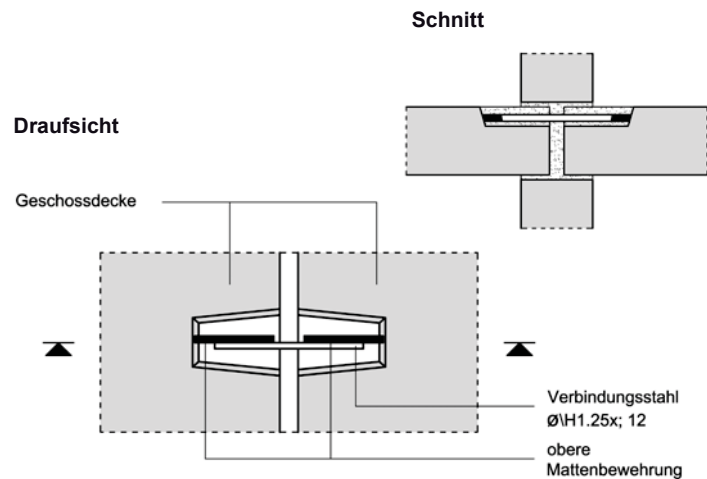


Abb. 4.6: Verbindung Decke – Decke längs zur Spannrichtung⁴⁹

In Abhängigkeit der Geschossanzahl sind die Außenwandfugen als geschlossenes oder offenes Fugensystem ausgeführt worden.

Bei mehrgeschossigen Plattenbauten (bis 6 Geschosse) ist das geschlossene Fugensystem angewandt worden, wobei abschließend außen überwiegend asbesthaltiger Fugenkitt (Morinol)⁵⁰ verbaut wurde (s. Abb. 4.7). Bei offenen Fugen bildet den äußeren Abschluss ein PVC – Band (s. Abb. 4.8)

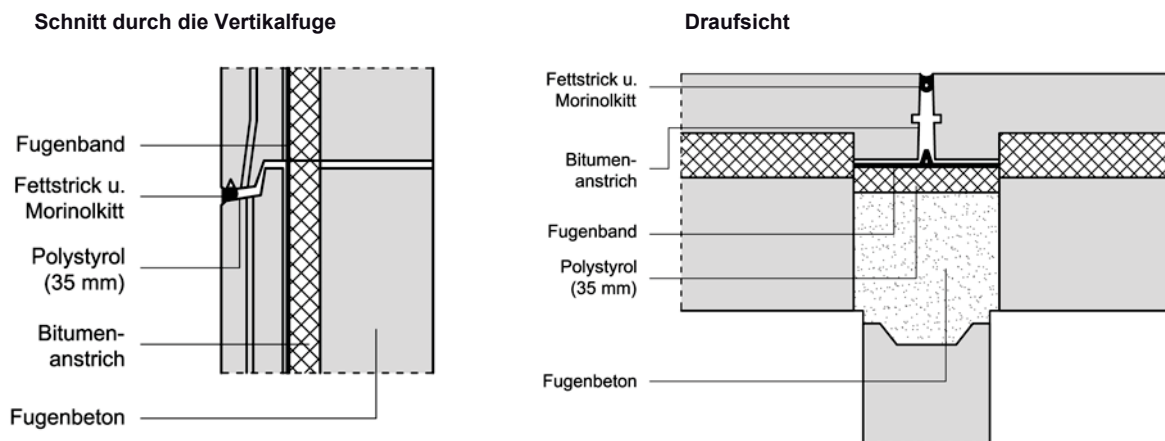


Abb. 4.7: Geschlossenes Fugensystem⁵¹

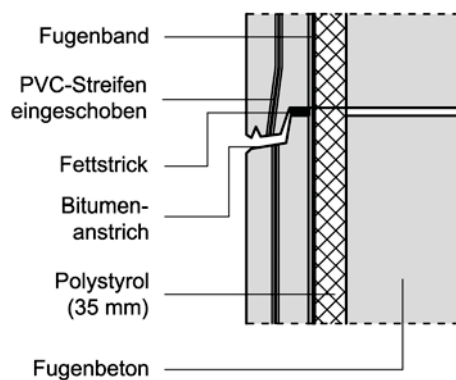
⁴⁸ überarbeitet nach Mettke, Angelika (Hrsg.): Rahmentechnologie, Rückbau-/ Demontagevorhaben Plattenbauten – am Beispiel der Typenserie 2, Cottbus, 2004, S. 39

⁴⁹ ebenda.

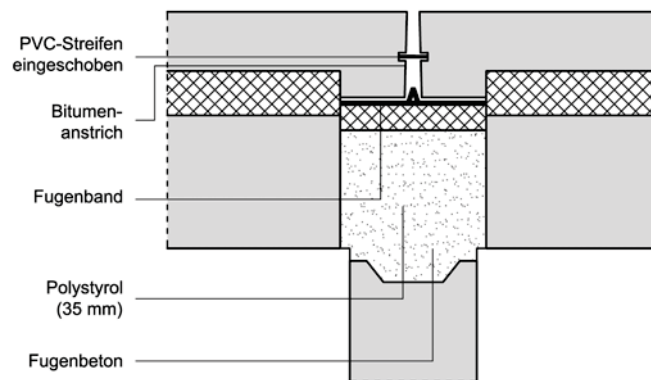
⁵⁰ näheres siehe Kapitel 5.

⁵¹ überarbeitet nach Mettke, Angelika (Hrsg.): Rahmentechnologie, Rückbau-/ Demontagevorhaben Plattenbauten – am Beispiel der Typenserie 2, Cottbus, 2004, S. 38

Schnitt durch die Vertikalfuge



Draufsicht

**Abb. 4.8:** Offenes Fugensystem⁵²

Weitere und detaillierte Angaben zu konstruktiven Merkmalen sind dem Schlussbericht zum Forschungsvorhaben „Rückbau industrieller Bausubstanz – großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“⁵³ entnehmbar.

4.4 Gebäudekennzahlen

Gebäudekennzahlen wurden ermittelt, um Planungs- und Ausführungsarbeiten zum Rückbau und Abbruch von industriell errichteten Bauten zu unterstützen. Mengenermittlungen sind relevant für die Kalkulation der Abbruch- und Demontagedauer und damit der Abbruch- und Demontagekosten wie auch insbesondere für die Entsorgungskosten. Allerdings variieren die Ausführungsvarianten der Typenbauten nicht nur untereinander sondern auch innerhalb einer Gebäudeserie. Deshalb können die nachstehenden Gebäudekennzahlen nur zur groben Orientierung herangezogen werden.

⁵² überarbeitet nach Mettke, Angelika (Hrsg.): Rahmentechnologie, Rückbau-/ Demontagevorhaben Plattenbauten – am Beispiel der Typenserie 2, Cottbus, 2004, S. 39

⁵³ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1: Krangeführter Rückbau, Cottbus, 2008, S. 22-83

Tab. 4.1: Ausgewählte Kennzahlen der Gebäudetypen PN 36-NO, P2, WBS 70 und IW 64⁵⁴

	PN 36-NO	P2	WBS 70	IW 64
	Plattenbauweise			Blockbauweise
Laststufe	5 t	5 t	6,3 t	0,8 t
Geschossanzahl	4 und 5	4 bis 6, 8 bis 11	5 bis 11	3 bis 5
Aufbau	Zwei-/ Dreispänner	Zwei-/ Drei-/ Vier-spänner	Zwei-/ Dreispänner	Zweispänner
Kennzahlen				
Ermittelte gesamte Masse der Betonelemente bezogen auf 1m ² Wohnfläche	ca. 1.315 kg	ca. 1.390 – 1.480 kg	ca. 1.215 Kg	ca. 1.450 kg
Ermittelte gesamte Masse der Betonelemente im Normalgeschoss bezogen auf 1m ² Geschossfläche	ca. 820 kg	ca. 854 – 845 kg	ca. 775 kg	ca. 820 – 845 kg
Ermittelte gesamte Masse der Betonelemente im Dachgeschoss bezogen auf 1m ² Geschossfläche (Flachdach)	ca. 420 kg	ca. 345 – 350 kg	ca. 415 kg	ca. 200 kg
Ermittelte gesamte Masse der Betonelemente im Kellergeschoss bezogen auf 1m ² Geschossfläche	ca. 870 kg	ca. 845 kg	ca. 800 kg	ca. 1.080 kg
Anzahl verbauter Elemente Dachgeschoss (1 Segment)	37 – 42	38 – 45	10 – 34	66
Anzahl verbauter Elemente Normalgeschoss (1 Segment)	48 – 58	52 – 59	54 – 79	255 – 261
Anzahl verbauter Elemente Kellergeschoss (1 Segment)	52 – 71	50 – 64	56	263

4.5 Generelles zur Planung und Ausführung von Rückbauvorhaben

Rückbauvorhaben sind prinzipiell wie Abbruchvorhaben vorzubereiten. Sie erfordern grundsätzlich die Einleitung und Durchführung eines bauordnungsrechtlichen Verwaltungsverfahrens gemäß der Bauordnungen der Länder.⁵⁵

Die wesentliche Genehmigung, die eingeholt werden muss, ist die Abbruch- resp. Rückbaugenehmigung. Zuständig dafür ist die örtliche Bauaufsichtsbehörde.

Von der Abbruchgenehmigung nicht erfasst sind abfallrechtliche Nachweise sowie evtl. erforderliche wasserrechtliche Bescheide, wenn bspw. aufbereitetes Material (RC-Material) zur Verfüllung der Baugrube verwendet wird. Die Verantwortlichkeiten der Beteiligten sind in den Bauordnungen der Länder⁵⁶ festgeschrieben. Planungs-, Überwachungs- und Entsorgungsverantwortung trägt der Bauherr.

⁵⁴ Mettke, Angelika: Verallgemeinerbare Ergebnisse zum Demontageprozess verschiedener industrieller Bautypen, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Angelika Mettke (Hrsg.), Cottbus, 2005, S. 93

⁵⁵ Das Antrags- und Genehmigungsverfahren bei Abbruchvorhaben ist nicht bundeseinheitlich geregelt.

⁵⁶ bspw. in der Brandenburgischen Bauordnung (Bbg BO) im Teil 4, Die am Bau Beteiligten §57 ff.

Er hat zur Vorbereitung, Überwachung und Ausführung eines genehmigungsbedürftigen Bauvorhabens bzw. Rückbauvorhabens einen Entwurfsverfasser, Unternehmer und Bauleiter zu bestellen.

In den Verantwortungsbereich der Bauherren fällt:⁵⁷

- die Vergabe der Planung an einen fachlich geeigneten Planer gemäß Bauordnung,
- die Erarbeitung eines Schutzkonzeptes (Arbeits- und Sicherheitsplanes),
- Erarbeitung eines Entsorgungskonzeptes,
- die Vergabe der Rückbauleistungen.

Im Vergleich zum Abbruch ist der planungstechnische Aufwand für Demontagen höher. Er resultiert aus den umfassenden sicherheitstechnischen und den technologischen Prozessen.

Die Planung der Demontage/des Rückbaus lässt sich in folgende Arbeitsschritte gliedern:

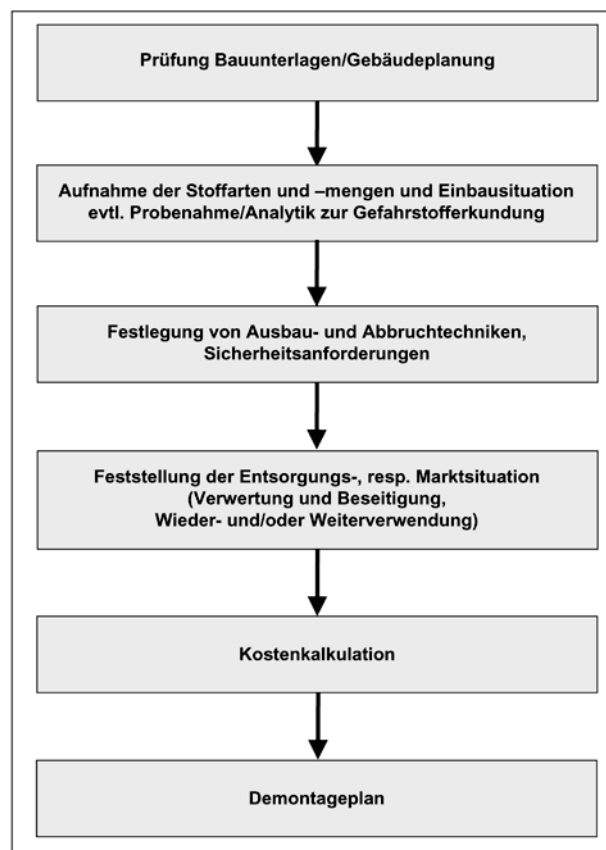


Abb. 4.9: Planungsphasen für Rückbauvorhaben⁵⁸

Dem Planer obliegt eine besondere Verantwortung für eine detaillierte Ausschreibung zum Rückbau mit entsprechenden Vorgaben zur Rückbautechnologie, um die Sicherheit in jeder Demontagephase (Schadstoffentfrachtung während des Demontagevorganges und für die verbleibende Bausubstanz) zu garantieren. Dies gilt auch für das Lagern und Verladen der rückgebauten Bauelemente und für den entstehenden Bauschutt. Erfolgt der Teilrückbau im bewohnten Zustand, ist darüber hinaus die Sicherheit der Mieter zu gewährleisten.

⁵⁷ Die Leistungen sind detailliert aufgeführt in: Rahmentechnologie, Rückbau-/ Demontagevorhaben – am Beispiel der Typenserie P2, Hrsg. Angelika Mettke, Cottbus, 2004, S. 22 ff.

⁵⁸ ebenda, S. 27

4.6 Prinzipieller Demontageablauf

Der Rückbau resp. die Demontage von Plattenbauten erfordert einen strukturierten Ablauf, der – neben den im Kap. 4.5 benannten Punkten – zum einen die Selektierung von Schadstoffen und schadstoffbelasteten Bauteilen (vgl. Kap. 5) und zum anderen eine Vortrennung der einzelnen Baumaterial- und Baustofffraktionen bis auf den ursprünglichen Rohling / Rohbau sicherstellt. Grundsätzlich kann nach folgendem Ablauf verfahren werden:

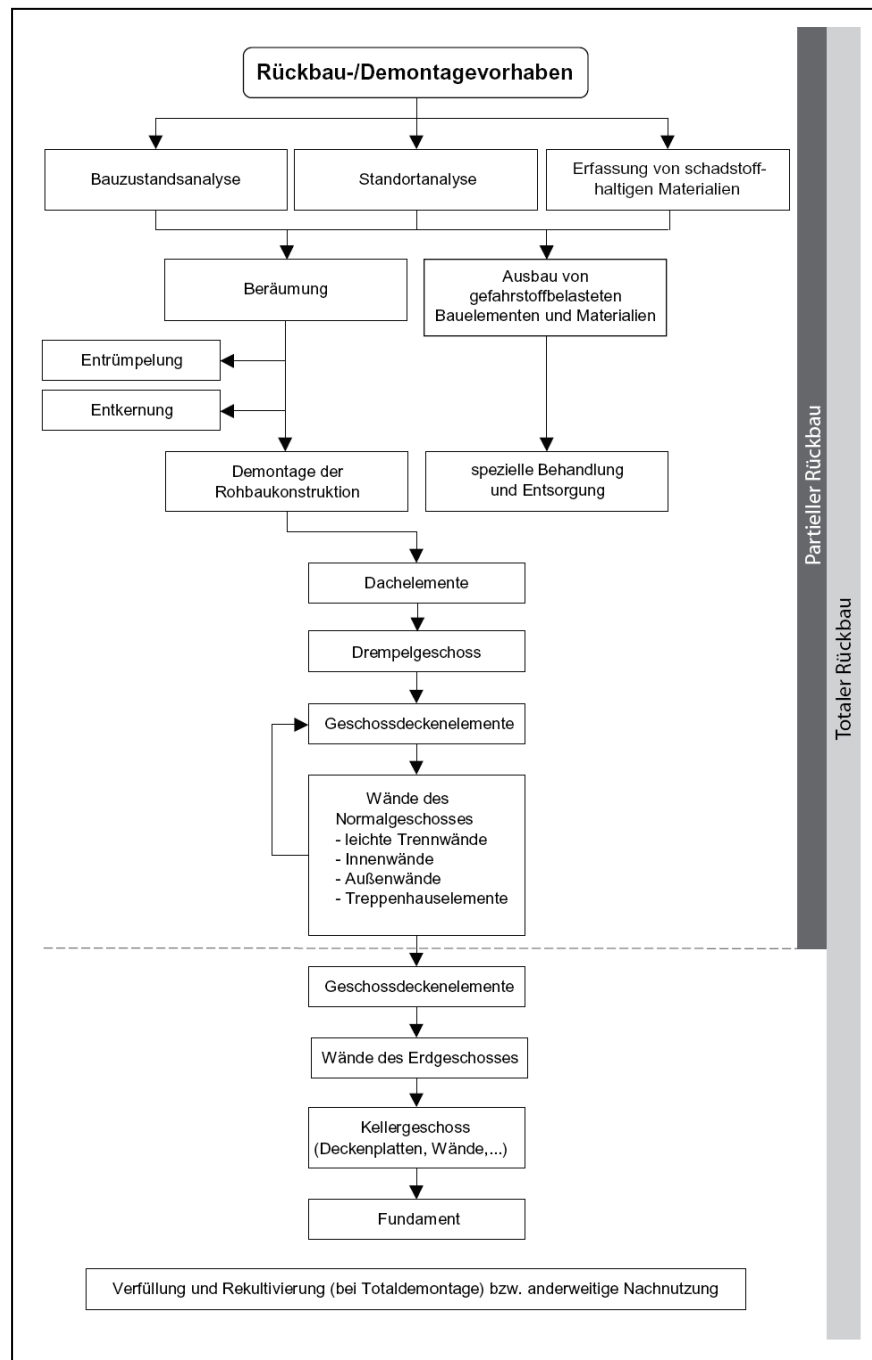


Abb. 4.10: Prinzipieller Demontageablauf bei Teil- und Komplettrückbau⁵⁹

⁵⁹ Mettke, Angelika (Hrsg.): Rahmentechnologie, Rückbau-/ Demontagvorhaben Plattenbauten, Cottbus, 2004, S. 41

Der prinzipielle Demontageablauf weiter untersetzt ergibt sieben Demontagestufen, die primär bautechnisch bedingt sind (s. Abb. 4.11).

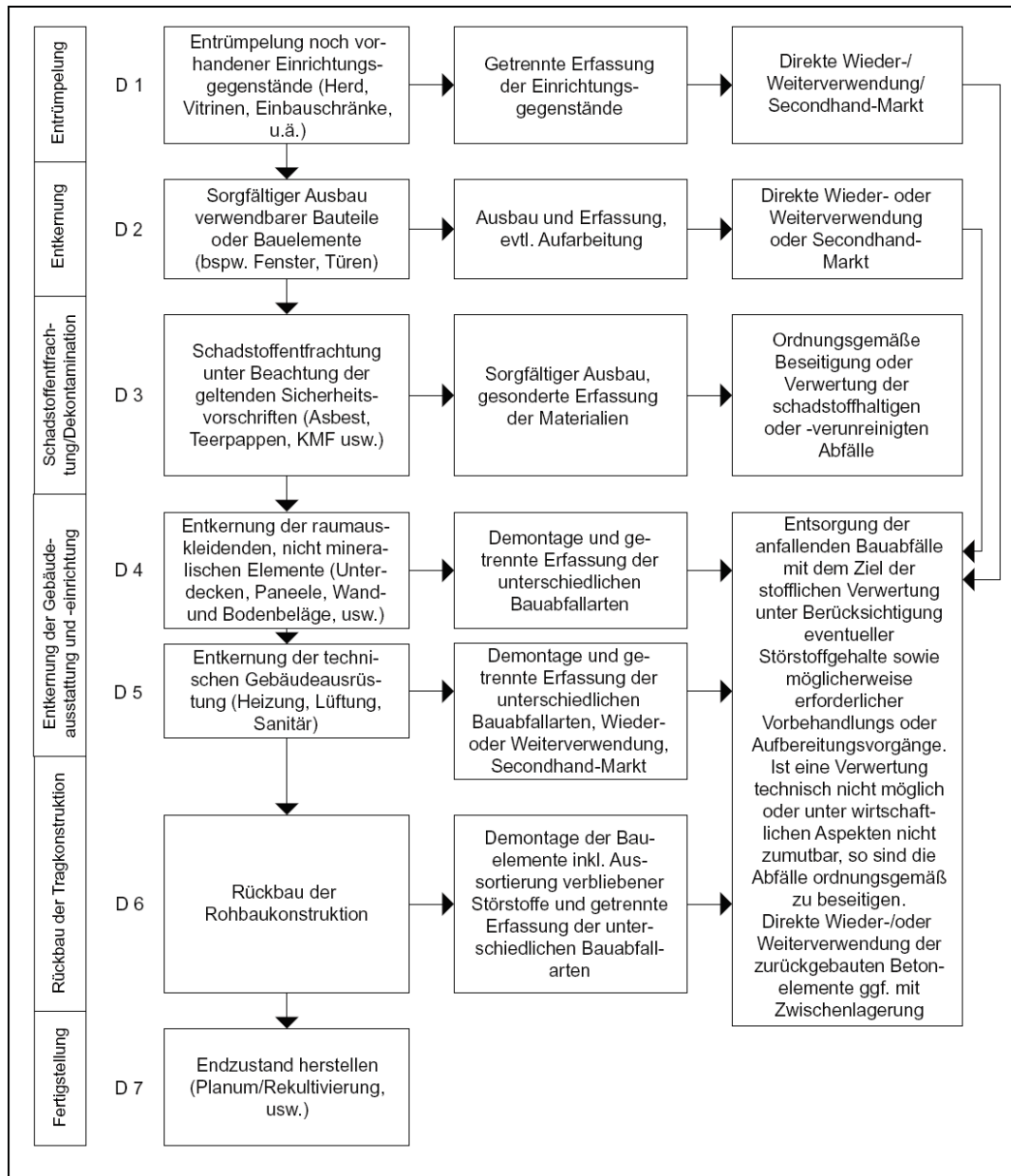


Abb. 4.11: Demontagestufen⁶⁰

Die hierarchische Demontagestruktur ermöglicht eine detaillierte Planung und wirkt unterstützend bei der Ausführung und Überwachung der Prozesse.

⁶⁰ erweitert nach Silbe, Katja: Wirtschaftlichkeit kontrollierter Rückbauarbeiten, Diss. 1999, Darmstadt, in: Tiefbau 1/2004, S. 25; Aufsatz von Motzko, Christoph; Klingenberger, Jörg: Kalkulation kontrollierter Abbrucharbeiten – Ausgewählte Schwachstellen und Empfehlungen aus baubetrieblicher Sicht, S. 22 - 28 und Mettke, Angelika: Rückbauen statt Abreißen, in: BaustoffRecycling + Deponietechnik, 8/2003, S. 44; vgl. auch Arbeitshilfen Recycling, Hrsg. Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau + Bundesministerium der Verteidigung, 1998, S. 19

4.7 Anforderungen an den Rückbau / die Demontage der Rohbaukonstruktion

Nachdem das Gebäude beräumt (entrümpelt und entkernt; Demontagestufen D1, D2, D4, D5 Abb. 4.11) und von Schadstoffen entfrachtet (D3) wurde, kann mit der Demontage der Rohbaukonstruktion begonnen werden.

Grundsätzlich sind an die Demontage der Rohbauarbeiten folgende Anforderungen zu stellen:⁶¹

- Die Konstruktionselemente sind vor dem Trennen oder Lösen gegen Herabfallen oder Ab- bzw. Umkippen zu sichern. Neben sicherheitstechnischen Aspekten wird damit eine weitgehende Erhaltung der Form und Funktionsfähigkeit der Bauelemente nach dem Lösen der Verbindungen erreicht.
- Bei partiellen Demontagen ist eine Beschädigung der verbleibenden Bausubstanz auszuschließen.
- Der Einsatz von umweltfreundlichen Maschinen und Geräten ist zu bevorzugen, um insbesondere Lärm, Staub und Erschütterungen zu vermeiden bzw. zumindest einzudämmen.
- Das Öffnen bzw. Trennen der Fugen zwischen den Betonfertigteilen hat so zu erfolgen, dass die zur Wieder- oder Weiterverwendung vorgesehenen Bauelemente nicht beschädigt werden.

Die zu erarbeitende Demontagetechnologie sollte folgende Angaben enthalten:

- Menge/Anzahl und Sortiment der zu demontierenden Teile, Mengen schadstoffbelasteter Baumaterialien und unbelastete Bauschutt- u./o. gemischte Bau- und Abbruchabfallmengen,
- Rückbaumethode inkl. Hebezeug (Art, Standort), Lage der Anschlagstellen und Art des Anschlages und der Anschlag- und Lastaufnahmemittel,
- Demontagereihenfolge und Stabilisierung der Konstruktionen in den einzelnen Demontageschritten (Sicherstellung von Bauteilen sowie Lastabtragung von Geräten, Personen, Bauschutt; Abbruchstatik),
- Freilegen und Lösen von Verbindungen,
- Maschinen- und Geräteeinsatzplan,
- Hilfskonstruktionen, z. B. Gerüst stellen,
- Absturzsicherungen,
- Demontagetiefen und mögliche Auswirkungen auf angrenzende Gebäude,
- Sicherungsmaßnahmen, z. B. Absperren von Gefahrenbereichen,
- Arbeits- und Gesundheitsschutzmaßnahmen,
- Zwischenlagerungsflächen,
- Containerstellplätze,
- Besonderheiten und
- darüber, welche Bauteile für eine Wieder- und/oder Weiterverwendung vorgesehen sind (Kennzeichnung der Elemente).

⁶¹ Mettke, Angelika (Hrsg.): Rahmentechnologie, Rückbau-/ Demontagetechnik, Plattenbauten, Cottbus, 2004, S. 48

Analog der Montage ist bei der Demontage die Gebäudestabilität während aller Rückbauphasen zu gewährleisten. Ausschlaggebend für die Sicherung der Stabilität ist das Zusammenwirken der horizontalen Deckenscheiben mit den vertikalen Aussteifungselementen. Werden Elemente dieser Scheiben, insbesondere der Wandscheibe, während der Demontage entfernt, sind Maßnahmen zur Abstützung der angrenzenden Wandelemente mittels Montagestreben zu treffen bzw. die Stabilität der Wandscheibe ist durch zunächst verbleibende, anstehende Wände (tragende bzw. aussteifende Innenwände oder Außenwände) zur Schaffung von selbstaussteifenden Einheiten zu gewährleisten. Die Elemente sind mittels Montagestreben zu sichern. Bei Arbeitsunterbrechungen ist sicherzustellen, dass alle Betonfertigteile demontiert sind, deren Schweißverbindungen bereits durchtrennt wurden.

4.8 Ausgewählte verfahrenstechnische und technologische Ergebnisse und die Einflüsse auf die Rückbau- und Entsorgungskosten

Die technische Machbarkeit, Plattenbauten krangeführt resp. bauelementeorientiert zurückzubauen, ist anfangs in Frage gestellt worden, aber zwischenzeitlich mehrfach praktisch bewiesen. Nunmehr geht es darum, die Rückbauprozesse zu optimieren, um Sicherheit bei der Kostenkalkulation zu haben. Denn Kostensicherheit bildet die Grundlage für investive Entscheidungen und ist die Voraussetzung für jedes erfolgreiche Bau- resp. Abbruch- bzw. Rückbauvorhaben. Daran hat sich im Laufe der Zeit nichts geändert. Während es für Neubaumaßnahmen recht genaue Kalkulationsansätze gibt, war dies für Rückbaumaßnahmen von industriell errichteten Bauten nicht der Fall. Deshalb wurden im Rahmen der begleitenden Untersuchungen zum Rückbau v. a. die zeitintensiven Arbeiten erfasst sowie die Parameter, die maßgeblich Einfluss auf die Kosten und auf den Projektablauf haben⁶². Mit der wissenschaftlichen Aufarbeitung der Arbeitszeitermittlung von Entkernungsmaßnahmen, kranunabhängigen sowie kranabhängigen Leistungen resp. der Schaffung von Kalkulationsansätzen sind erste Grundlagen entwickelt worden.

Bevor ausgewählte Untersuchungsergebnisse dargelegt werden, werden die wesentlichen Einflussfaktoren der Rückbau- und Entsorgungsprozesse benannt.

4.8.1 Wesentliche Einflussfaktoren auf die Rückbau- und Entsorgungskosten

Einige wichtige Kriterien, die auf die Kosten Einfluss haben, sind

- bei Teilrückbau
 - Randbedingungen der Rückbaustelle / Einbindung des Gebäudes in die Umgebung (Platzverhältnisse, Zugänglichkeit, Baustelleneinrichtungsflächen, ...),
 - behördliche und gesetzliche Auflagen,
 - Gebäudegeometrie, Bauart, Konstruktion, Geschosszahl,
 - Bauelementegeometrie und –gewicht,
 - Standsicherheit und Bauzustand des Gebäudes (Tragfähigkeit der Bauwerksteile),

⁶² umfassend publiziert in: Mettke, Angelika (Hrsg.): Rahmentechnologie, Rückbau-/ Demontagevorhaben Plattenbauten, Cottbus, 2004, S. 50 - 76 und in: Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1 Krangeführter Rückbau, 2008, S. 136 – 161 / 213 - 274

- Rückbautechnik und Gerätewahl,
- Art und Umfang der Rückbaumaßnahme,
- Art und Umfang der schadstoffhaltigen Baumaterialien,
- Qualität der Bauelemente und –materialien,
- Maßnahmen zum Schutz des verbleibenden Bestandes,
- Arbeitszeitbeschränkungen,
- Zulässigkeit Lärm, Staub, Erschütterungen (Arbeits- und Umweltschutz; nachträgliche Schadensansprüche),
- Transportwege etc.
- Entsorgung
 - Selektierungsaufwand,
 - Schadstoffbelastung,
 - Vorzerkleinerung,
 - länderspezifische, regionale Bestimmungen (Überlassungs-/Andienpflichten; s. Tab. 5.6),
 - Anzahl und Größe der Container,
 - Transportentfernungen/-kosten,
 - Entsorgungsgebühren,
 - Verkaufserlöse.

Die Vielzahl der Kriterien verdeutlicht, dass der Kalkulation von Rückbauarbeiten die notwendige Sorgfalt zu widmen ist. Die Erfahrungen der Praxis zeigen, dass darin Defizite bestehen. Deshalb sollen nachstehend für ausgewählte Komplexe die ermittelten Daten aufgezeigt werden.

4.8.2 Kraneinsatz

Die Auswahl des Krans bei Rückbauten hängt von folgenden Parametern ab:

- Gebäudegeometrie,
- max. zu hebende Lasten,
- Dauer und Umfang der Maßnahme,
- Gelände- und Bodenverhältnisse,
- Platzverhältnisse.

Für die Demontage von industriell gefertigten Gebäuden kommen Fahrzeugkrane und Turmdrehkrane zum Einsatz. Um den Lastbereich des Krans optimal auszunutzen, kommt die Seitendemontage (Aufstellung des Krans an der Längsseite des Gebäudes) zum Tragen – genauso wie es bei der Montage der Fall war.

Für den konkreten Einsatzfall ist der Nachweis für den Kran zu führen. Ausschlaggebend ist demzufolge das schwerste Außenwand- bzw. Loggiabrüstungselement auf der kranabgewandten Gebäudelängsseite. Die Angaben zu den Elementengewichten aus dem Projektierungskatalog sind hierbei nicht ausreichend, denn im Zuge der wissenschaftlichen Begleitung wurde festgestellt, dass Massezuschläge einzurechnen sind. Sie ergeben sich hauptsächlich aus anhaftenden Fugenmörtel und Durch-

feuchtungen; bei Geschossdecken aus anhaftenden Dichtungsbahnen und Estrichschichten und bei Dachplatten aus den verklebten Dachbahnen. Die Ergebnisse stellen sich wie folgt dar:

Tab. 4.2: Ermittelte Veränderungen der Elementegewichte bei Demontagen gegenüber den Projektierungsunterlagen in [%]⁶³

Elementesortiment	P2 11-geschossig	P2 5-geschossig	WBS 70 11-geschossig	WBS 70 5-geschossig
Dachplatten mit Dachbahnen				+30 bis +5
Geschossdecken	+8 bis -19	+22 bis -2	+40 bis +8	+50 bis +5
Innenwände	+6 bis -4	+2 bis -32	+4 bis -18	+30 bis +2
Außenwände	+3 bis -15	+3 bis -1	+53 bis -3	+25 bis +2

Die Messergebnisse zeigen, dass die Elementegewichte erhebliche Abweichungen im Vergleich zu den Projektierungsangaben aufweisen. Empfohlen wird, bei der Nachweisführung der Traglast des Krans das spezifische max. Demontagegewicht (kritisches Element) anzusetzen.

Ein Kostenvergleich zwischen Turmdrehkran (TDK) und Fahrzeugkran (FZK) anhand beispielhaft zugrunde gelegter 5-, 11- und 16-geschossiger Wohnbauten ergab nach

$$K_{\text{ges}} = K_f + K_v \cdot t \quad (4.1)$$

K_{ges}	Gesamtkosten
K_f	fixe Kosten (Antransport, Auf- und Abbau, Abtransport)
K_v	variable Kosten (Miete, Elektrokosten, Kranführer, Versicherung)
t	Dauer des Kraneinsatzes [Monate]

folgendes Ergebnis:

Tab. 4.3: Vergleich der Kosten und Ermittlung des Break-even-points für den Einsatz von TDK und FZK (Werte gerundet)⁶⁴

Gebäudegröße	5 Geschosse	11 Geschosse	16 Geschosse
Kosten Turmdrehkran			
Fixe Kosten	10.000 €	13.000 €	17.000 €
Variable Kosten	9.550 €	9.900 €	10.650 €
Kosten Fahrzeugkran			
Fixe Kosten	160 €	1.590 €	5.400 €
Variable Kosten	13.940 €	29.410 €	56.100 €
Break-even-point			
Monate	2,24	0,58	0,26
Tage	47	12	5

⁶³ erweitert nach Mettke, Angelika; Heyn; Sören Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1 Krangeführter Rückbau, Cottbus, 2008 S. 147

⁶⁴ Mettke, Angelika (Hrsg.): Rahmenttechnologie, Rückbau-/ Demontagvorhaben, Plattenbauten, Cottbus, 2004, S. 53

Auffällig ist der Anstieg der variablen Kosten des FZK (s. Tab. 4.3).

Der Break-even-point (t_0)⁶⁵ gibt an, ab welcher Einsatzzeit welcher Krantyp vorteilhafter ist; ermittelt durch:

$$t_0 = (K_{f(TDK)} - K_{f(FZK)}) / (K_{v(TDK)} - K_{v(FZK)}) \quad (4.2)$$

Die Ergebnisse der gewählten Fallbeispiele lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Mit zunehmender Gebäudehöhe steigen die Krankosten für beide Kranarten an (s. Abb. 4.12)

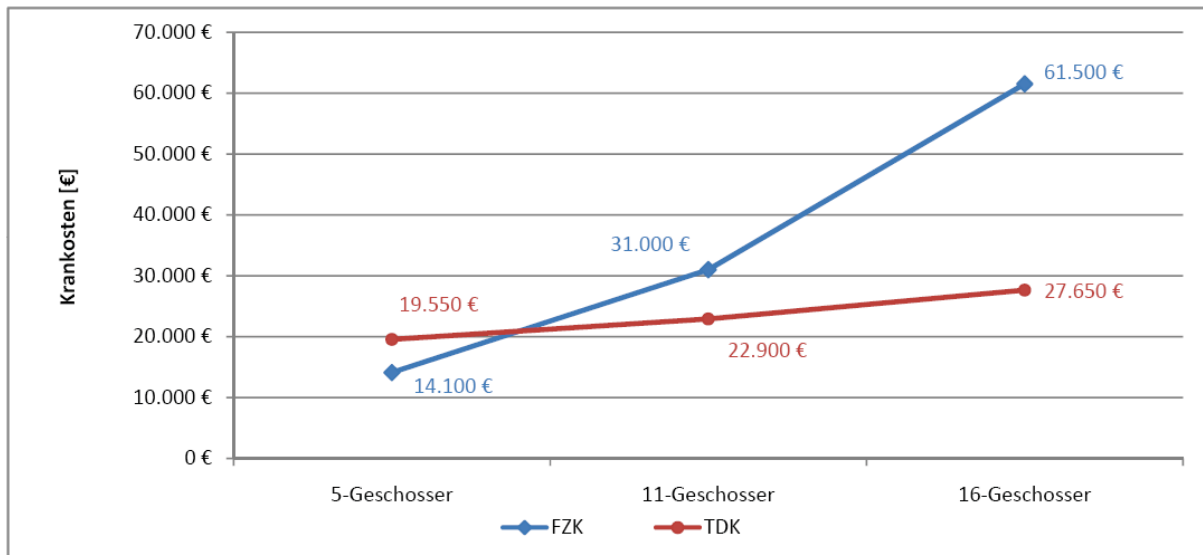


Abb. 4.12: Grafische Darstellung der Kostenentwicklung für TDK und FZK in Abhängigkeit der Gebäudehöhe

- Der Break-even-point stellt sich in Abhängigkeit der Gebäudehöhe
 - bei 5-geschossigen Gebäuden bis zu 47 Tage (2,24 Monate) Demontagedauer zugunsten von FZK,
 - bei 11-geschossigen Gebäuden bis zu 12 Tagen (0,58 Monaten) Demontagedauer zugunsten von FZK,
 - bei 16-geschossigen Gebäuden bis zu 5 Tagen (0,26 Monaten) Demontagedauer zugunsten von FZK ein.

Aufgrund der sich ständig verändernden Marktsituation (regionale, lokale, saisonale, wirtschaftliche und marktpolitische Gegebenheiten) können die hier vorgestellten Ergebnisse lediglich als Orientierung dienen. Folglich ist jedes einzelne Rückbauvorhaben neu zu kalkulieren.

⁶⁵ deutsch: Gewinnschwelle

4.8.3 Demontage-/ Rückbauzeiten – Zeitmessungen zur Demontage von Betonelementen

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsvorhabens „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“ wurden rd. 2.000 Messungen zu den Kranspielzeiten für die Demontage der einzelnen Betonelemente sowie für die erforderlichen vorbereitenden Arbeiten zum Freilegen und Trennen der Verbindungseisen sowie zum Öffnen der Fugen durchgeführt. Hintergrund der Analyse war, festzustellen, in welcher Zeit das verbaute Elementesortiment demontierbar ist. Die Messungen wurden in kranabhängige Zeiten (reine Demontagezeiten) und in kranunabhängige Zeiten (Nebenarbeiten / vorbereitende Arbeiten) aufgeschlüsselt. Daneben wurde ermittelt, wie die Kranauslastung ist. Außerdem wurde untersucht, ob u./o. welchen Einfluss die (geplante) Wiederverwendung von Betonelementen auf die Demontagezeit ausübt. Damit wird den Praktikern einerseits eine Basis für die Kalkulation der Demontagekosten geliefert und andererseits konnten Schwachstellen eruiert werden.

- **Arbeitszeitaufwand für die Vorbereitung der Elemente zur Demontage / kranunabhängige Zeiten (Nebenarbeiten)**

Die Arbeitszeiten, die für das Aufstemmen der Verbindungsstellen, das Öffnen der Fugen, die Ausführung von Anschlagöffnungen für alternative Anschlagmöglichkeiten sowie das Trennen der Verbindungseisen gemessen wurden, sind reine Arbeitszeiten. Pausen für körperlich schwere Arbeiten, das Wechseln und Säubern von Arbeitsgeräten u.a. sind nicht enthalten.

Folgende kranunabhängige Zeiten (Werte gerundet) wurden ermittelt:⁶⁶

Tab. 4.4: Ermittelte kranunabhängige Zeiten / Zeitaufwand zur Vorbereitung der Bauelemente auf ihre Demontage (Werte gerundet)

Elementesortiment	Arbeitszeitaufwand [min]	
	Plattenbau 6-Geschosser	Blockbau 4-Geschosser
Dachkassettenplatte	30	23
Deckenplatte (ohne Estrich)	22	13
Außenwand	12	4
Innenwand	8	-
Badzelle	39	-

Hier zeigt sich, dass für die Dachkassettenplatte, im Vergleich zu den anderen hauptsächlich verbauten Elementen, ein erhöhter zeitlicher Aufwand einzuplanen ist. Dieser begründet sich hauptsächlich im Aufschneiden der Papplagen mittels Asphaltschneider, dem Abstemmen der Dachhaut und der

⁶⁶ nach Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1 Krangeführter Rückbau, Cottbus, 2008, S. 236 ff.

Herstellung von 4 Öffnungen je Element in Vorbereitung des alternativen Anschlages. D.h. insbesondere bei geschossweisem Rückbau um ein oder zwei Geschosse hat die Vorbereitung der Demontage der Dachplatten einen erheblichen Einfluss auf die Gesamtdauer der Maßnahme.

Ist die Estrichschicht als Verbundestrich ausgeführt, so sind für den Ausbau rd. 7 min/m² (Aufstemmen und Beräumen) anzusetzen.

Aus diesen Angaben lässt sich die Dauer der vorbereitenden Arbeiten zur Bauelementedemontage ableiten.

- **Zeitlicher Aufwand für die reine Demontage / das Kranspiel der Betonelemente (kranabhängige Zeiten)**

Folgende durchschnittliche Zeiten wurden für die reine Demontage von Betonelementen ermittelt:

Tab. 4.5: Ermittelte Kranspielzeiten (Anschlagen, Abheben, Abschlagen, Rückführen des Lastaufnahmemittels) für die Demontage von Betonelementen in Platten- und Blockbauten verbaut⁶⁷

	Reine Demontagezeit [min] (gemittelte, gerundete Werte)	
Gebäudetyp	Plattenbau 5- und 11-Geschosser	Blockbau 5-Geschosser
Anzahl der Messungen	1.295	604
Elementesortiment		
Dachelemente	10	17
Drempелеlemente	6	11
Deckenplatten	8	12
Außenwände	11	9
Innenwände	11	6
Trennwände	9	11
Badzelle	10	-
Loggiaschaft	10	-
Loggiadecke	5	8
Treppe	11	9
Mittelwert	10	10
Anzahl Elemente/Tag	31	45

⁶⁷ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1 Krangeführter Rückbau, 2008, S. 214, Auszug aus Tab. 117

Demzufolge kann davon ausgegangen werden, dass in einer Schicht durchschnittlich 31 Plattenbauteile bzw. 45 Blockbauteile zurückgebaut werden. Ungeachtet des Gebäudetyps und der Gebäudehöhe dauert die reine Demontage eines (beliebigen) Betonelements ca. 10 bis 15 Minuten.

Die Zusammenfassung der kranunabhängigen und kranabhängigen Demontagezeiten in Bezug auf den umbauten Raum, die Geschossfläche und das einzelne Element (Tab. 4.6) zeigt, dass die Rückbau-/Demontagezeit von der Anzahl der verbauten Elemente abhängt. Trotz der geringen Dauer für die Demontage eines Bauelementes der Blockbauweise i. M. von rd. 19 Minuten im Vergleich zur Demontage eines Bauelementes der Plattenbauweise i. M. von rd. 36 Minuten, ergibt sich für einen Quadratmeter Wohnfläche oder einen Kubikmeter umbauten Raum ein Vorteil für die Plattenbauweise.

Tab. 4.6: Gegenüberstellung der ermittelten gesamten Demontagezeiten⁶⁸

Gebäudetyp	Demontagezeit [mm:ss]	
	Plattenbau (WBS 70)	Blockbau (IW 64)
je m ³ umbauter Raum	2:43	9:00
je m ² Wohnfläche	12:38	41:23
je Element	35:50	18:45

Dass diese Angaben nur als Orientierung herangezogen werden können, erklärt sich aus der jeweiligen Ausgangssituation für die Rückbaumaßnahme (unterschiedliche Bestandssituation, verschiedene Art und ungleicher Leistungsumfang). Nicht zuletzt wird die Demontagedauer von der Qualität der Planung und von der Qualifikation des beauftragten Rückbauunternehmens beeinflusst.

Festgestellt wurde aber auch, dass es bezüglich der reinen Demontagezeit keine Unterschiede gibt, ob ein Bauelement wieder- oder weiterverwendet werden soll.

Im Zusammenhang der ermittelten Kraneinsatzzeiten und der daraus resultierenden Kosten ist die Kranauslastung zu diskutieren. Anlass dafür sind die im Rahmen der Analysen festgestellten Stillstandszeiten des Kranes. Der Stillstand bei der Demontage eines WBS 70 ergab sich zu 41 % und bei der Demontage eines Blockbaus zu 28 % (s. Abb. 4.13, 4.14).

⁶⁸ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1 Krangeführter Rückbau, 2008, S. 256, Auszug aus Tab. 147

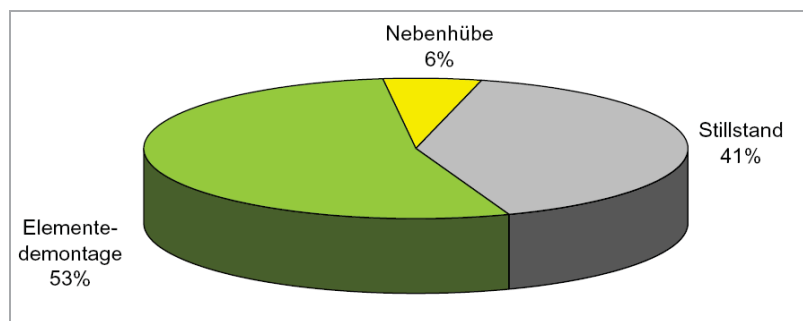


Abb. 4.13: Kranauslastung Beispiel Demontage – WBS 70⁶⁹

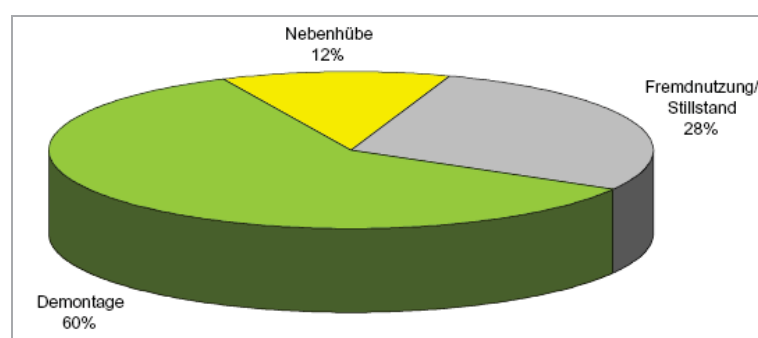


Abb. 4.14: Kranauslastung Beispiel Demontage – Blockbau⁷⁰

Zu den Nebenhüben zählen v.a. das Herunterheben von Schuttkübeln von der Demontageebene inkl. des Entleerens, die Umsetzung von Minibaggern und das Verladen der Betonelemente auf Tieflader.

Ein eindeutiger Ansatzpunkt zur Verringerung der Rückbauzeit und damit der Kosten stellt die Verminderung der Stillstandszeiten des Krans dar. Besonderes Augenmerk gilt deshalb dem ausreichenden Vorlauf der kranunabhängigen Arbeiten. Der sorgfältigen Vorbereitung und Ausführung des technologischen Ablaufs kommt daher eine besondere Bedeutung zu.

4.8.4 Anschlagmöglichkeiten

Als Anschlagpunkte für Lastaufnahme- bzw. Anschlagmittel wurden ursprünglich bei allen Typenseerien industriell gefertigter Bauten Tragösen verwendet. Eine Entscheidung über deren Nachnutzbarkeit ist in Abhängigkeit des jeweiligen Zustandes der einzelnen Tragöse zu treffen. D.h. die Funktionsfähigkeit der Tragösen ist durch eine fachkundige optische Kontrolle vor Ort durch den Anschläger zu überprüfen. Werden Einkerbungen, Verformungen, Aufzwängungen bzw. Verengungen, Schweißspritzer und Einbrandkerben festgestellt, ist die Tragöse nicht zu benutzen. In diesem Fall sind alternative Anschlagpunkte zu schaffen. Dies trifft auch für den Fall zu, dass die ursprünglichen Tragösen im Bauteil nicht mehr vorhanden sind (nach der Montage abgebrannt oder abgeflext wurden).

⁶⁹ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1 Krangeführter Rückbau, 2008, S. 234

⁷⁰ ebenda, S. 234

Im Rahmen eigener Forschungsarbeiten zur Abfallvermeidung bei Bauvorhaben Ende der 1990er Jahre, im Auftrag des Landesamtes für Umwelt und Geologie, Freistaat Sachsen, wurden experimentelle Untersuchungen zur Nachnutzungsfähigkeit von Tragösen an Deckenplatten durchgeführt.⁷¹ Nachgewiesen werden konnte an drei Tragösen unterschiedlicher Zustände (sichtbare Abrostungen, mechanische Beschädigungen), dass bis zum Versagen die zulässige Zugkraft bereits um 60 % bis 140 % überschritten war. Diese Ergebnisse bildeten die Grundlage für die o.a. Aussage, dass Tragösen prinzipiell nachnutzbar sind, aber im Einzelfall der Zustand der jeweiligen Tragöse darüber entscheidet. Da die Belastung der Tragösen wesentlich von der Art des Lastaufnahme- bzw. Anschlagmittels abhängt, sollten zur Verminderung des Lasteintrags nach Möglichkeit Stranggehänge mit Lastausgleich zum Einsatz kommen.

Als alternative Anschlagpunkte/-möglichkeiten haben sich in der Praxis bewährt (s. Abb. 4.15 bis 4.17⁷²):

- das Durchstecksystem (Tragbolzen mit Gehänge) zur Demontage von Wandplatten; Bei diesem System ist eine vorhandene Öffnung (Tür oder Fenster) nutzbar oder eine Bohrung einzuplanen.
- Hebebänder zur Demontage von Deckenplatten oder Wänden,
- Zangen zur Demontage von Wandblöcken.



Abb. 4.15: Durchstecksystem



Abb. 4.16: Hebebänder



Abb. 4.17: Zange

Da i. d. R. erst im Zuge der Demontage der Zustand der Tragösen bewertet werden kann, steht man sich einem Risiko betreffs der Kostenkalkulation gegenüber. Denn je mehr alternativ anzuschlagen ist, desto zeit- und kostenaufwendiger wird der Rückbau.

Aus Auftragnehmersicht sollte der Vertrag mit dem Bauherrn so abgeschlossen werden, dass Nachträge für diesbezügliche unvorhersehbare Mehraufwendungen möglich sind.

⁷¹ in Zusammenarbeit mit Unruh, Hans-Peter in der FMFA der BTU Cottbus durchgeführt und veröffentlicht in: Mettke, Angelika, Thomas, Cynthia: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, Materialien zur Abfallwirtschaft, 1999, S. 43 ff.

⁷² Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Beton-elemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1 Krangeführter Rückbau, 2008, S. 149

4.8.5 Rückbau- und Entsorgungskosten

Die Demontagekosten unterliegen - wie auch die Abbruch- und Baukosten - der lokalen und zeitlichen Preissituation. Verallgemeinernde Aussagen sind nur möglich, wenn sämtliche Rahmenbedingungen wie Geschosshöhe, Art und Umfang des rückzubauenden Gebäudes, Zugänglichkeit, Gefahrstoffe, Qualität und Ausführung der Fugen, Nachnutzbarkeit der Tragösen, Sekundärnutzung etc. identisch sind. Außerdem hängen die Demontagekosten davon ab, ob ein Rückbau im unbewohnten oder bewohnten Zustand mit oder ohne Pufferetage ausgeführt wird.

Die in der Darstellung Abb. 4.18 auftretenden Nuancen in den Kosten der verschiedenen Teilrückbauvorhaben der Ahrensfelder Terrassen lassen sich auf die unterschiedlichen Vorkommen / Mengen an Schadstoffen, insbesondere auf kamilitgedämmte Außenwände, zurückführen. Mehrfach wurde festgestellt, dass innerhalb eines Gebäudes die mehrschichtigen Außenwände mit unterschiedlichen Dämmstoffen verbaut wurden (vgl. Kap. 5.3.4).

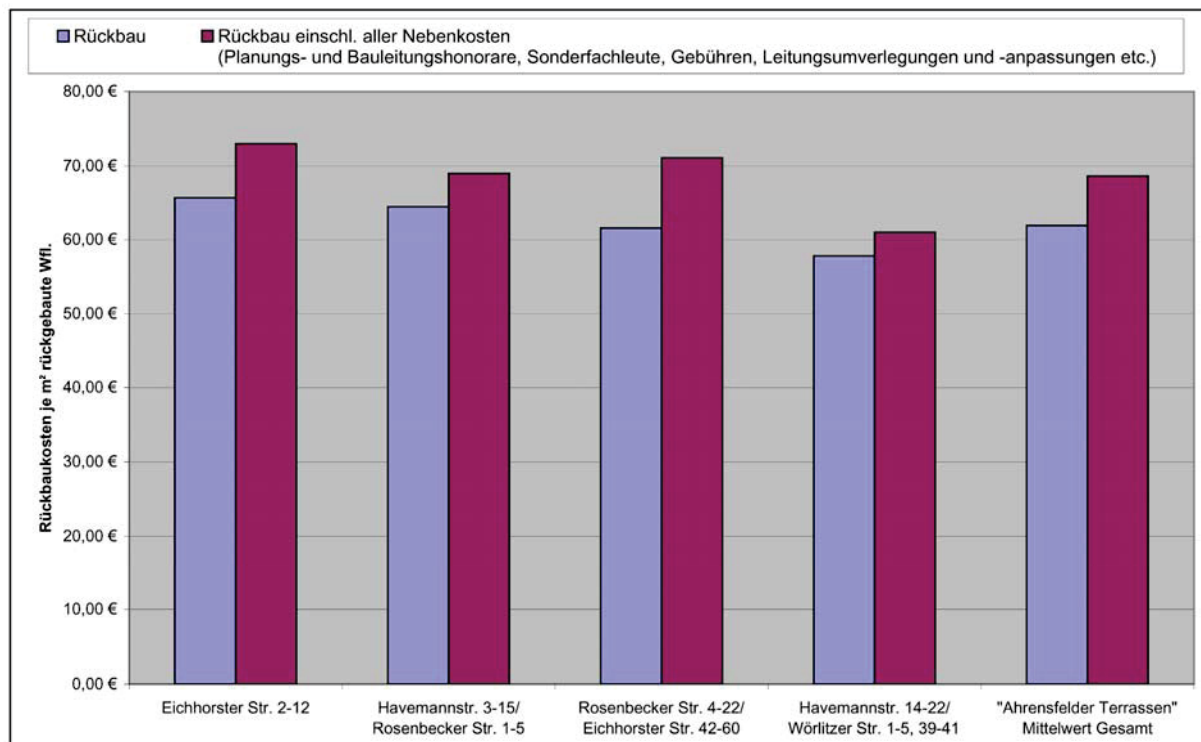


Abb. 4.18: Kostenbetrachtung zum Teilrückbau – Ahrensfelder Terrassen⁷³

⁷³ Al-Ahdab, Jacqueline: Das Projekt „Ahrensfelder Terrassen“, WBG Marzahn, 2005

Die Rückbaukosten haben sich innerhalb von 10 Jahren, wie aus Abb. 4.19 hervorgeht, deutlich rückläufig entwickelt.

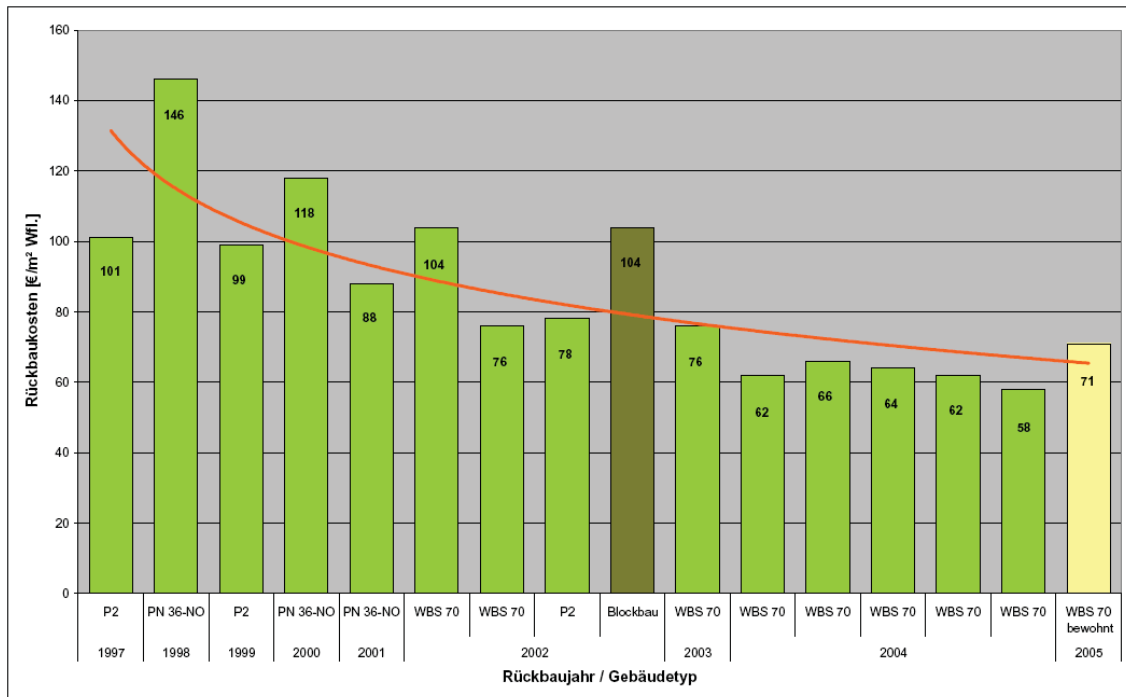


Abb. 4.19: Entwicklung der Rückbaukosten⁷⁴

Die Rückbaukosten inkl. Baustelleneinrichtung, Entkernung und Entsorgung bewegen sich derzeit zwischen ca. 58 – 66 €/m² Wfl. und 76 – 84 €/m² Wfl. Noch vor 10 Jahren (1998) waren sie bis zu 65 % höher.

Die Kostenstruktur für den Rückbau stellt sich i. Allg. folgendermaßen dar (Orientierung):

- Baustelleneinrichtung 9 – 29 %,
- Entkernung 4 – 27 %,
- Entsorgung 10 – 29 %,
- Schadstoffe 12 – 35 %,
- Gerüst 7 – 10 %,
- Demontage 17 – 57%.

Die im Zuge der begleitenden wissenschaftlichen Untersuchungen erfassten Abbruchkosten belaufen sich auf ca. 25 – 45 €/m² Wfl. (Stand 2007). Demzufolge sind die Demontagekosten etwa doppelt bis dreimal so hoch wie die Abbruchkosten.

⁷⁴ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1 Krangeführter Rückbau, 2008, S. 263

Die Demontagekosten pro Element (verbaut in Plattenbauten) liegen zwischen 133 € und 198 €:

- 173 €/Element [UNRUH/NAGORA, ermittelt am Standort Cottbus, 11-Geschosser P2]⁷⁵,
- 157 – 198 €/Element [eigene Untersuchungen am Standort Eggesin, 5-Geschosser, PN 36-NO],
- 176 €/Element [eigene Untersuchungen am Standort Gröditz, 6-Geschosser, WBS 70],
- 133 €/Element verbaut im Dachgeschoss [ASAM, ermittelt in Zusammenarbeit mit Fachgruppe Bauliches Recycling am Standort Templin, 5-Geschosser, WBS 70]⁷⁶,
- 189 €/Element verbaut im Normalgeschoss [ASAM, ermittelt in Zusammenarbeit mit Fachgruppe Bauliches Recycling am Standort Templin, 5-Geschosser, WBS 70]⁷⁷.

Die Kosten für Rückbaumaßnahmen unter bewohnten Bedingungen schwanken je nach Maßnahme (geschossweise, segmentweise u./o. terrassiert) von rd. 71 €/m² bis 205 €/m² rückgebauter Wohnfläche.⁷⁸ Beim Teilrückbau unter bewohnten Bedingungen erhöhen sich die Demontagekosten infolge notwendiger Sicherungs- und Schutzmaßnahmen für die unter der Demontageebene liegenden Wohnungen (Schutz gegen Wassereintrich, Schutz des Treppenhausbereiches u.a.).

Zu den Annahmepreisen von Stahlbetonbruch erfolgte in 2003 eine Umfrage an RC-Anlagen in den neuen Ländern. In Abb. 4.20 sind beispielhaft die Annahmegebühren für Betonbruch mit Bewehrung > 60 cm Kantenlänge aufgeführt. Die Preisabfrage liegt zwar schon 6 Jahre zurück, zeigt aber, dass die Annahmepreise starken regionalen Schwankungen unterliegen – und daran hat sich bis heute nichts geändert. Die derzeit örtlichen Annahme-/Kippgebühren für recyclingfähiges Betonmaterial > 60 cm mit Bewehrung (Abfallschlüssel 170101) beträgt 25 €/t. Für großformatige Betonelemente sind 77 €/t zu zahlen.

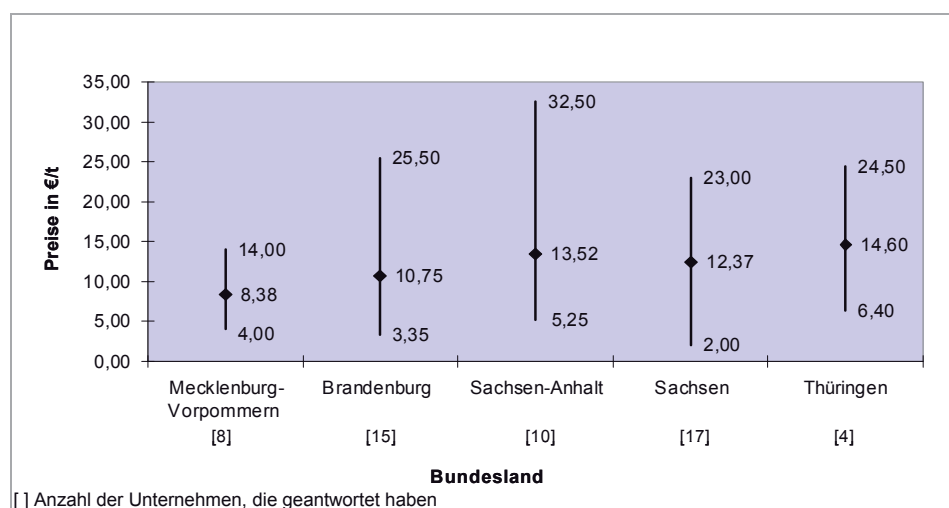


Abb. 4.20: Annahmepreise für Stahlbetonbruch (Kantenlänge > 60 cm)⁷⁹

⁷⁵ Unruh, Hans-Peter; Nagora, Anja: Rückbau von Plattenbauten, 2002, S. 191

⁷⁶ Asam, Claus et.al.: Untersuchungen der Wiederverwendungsmöglichkeiten von demontierten Fertigteilenelementen aus Wohnungsbautypen der ehemaligen DDR für den Einsatz im Wohnungsbau, Entwurf, 2004, S. 7 – 32, publiziert 2005

⁷⁷ ebenda, S. 7 - 33

⁷⁸ Janorschke, Barbara; Rebel, Birgit: Schlussbericht „Rückbau unter bewohnten Bedingungen“, iff Weimar, Entwurf, 2008/2009, S. 57, publiziert 2009

⁷⁹ Mettke, Angelika; Doll, Manuela; Lanzke, Cynthia: Marktanalyse zu Annahmegebühren von Bauschutt und Stahlbetonbruch in den neuen Bundesländern, 2003

Die nachstehend an zwei Fallbeispielen ermittelte Kostenstruktur zeigt, dass die Position der Entsorgungskosten eine nicht zu unterschätzende Größe an den Gesamtkosten ausmacht (s. Tab. 4.7). Diese Position wurde besonders in den Anfängen der Rückbautätigkeit von vielen Unternehmern falsch bewertet; d.h. zu niedrig angesetzt oder es wurden die regionalen Unterschiede nicht erkannt.

Gegenübergestellt werden der Teilrückbau von 1,5 Segmenten eines 6-geschossigen Wohngebäudes der WBS 70 und der Teilrückbau von 2 Geschossen eines Wohngebäudes in Blockbauweise 0,8 Mp-Bauweise (Die Untersuchungsergebnisse korrelieren mit den o.a. Angaben zur Kostenermittlung i. Allg.).

Tab. 4.7: Prozentualer Anteil der Kosten für Baustelleneinrichtung, Geräteeinsatz, Personal und Entsorgung an den Gesamtkosten an Fallbeispielen⁸⁰

Kosten für	segmentweiser Rückbau WBS 70 [%]	geschossweiser Rückbau Blockbau [%]
Baustelleneinrichtung	9	4
Maschinen- und Geräteeinsatz	31	25
Personal	39	57
Entsorgung	21	14

Das Wiederverwendungspotenzial (Wieder- u./o. Weiterverwendung der im Wohngebäude beim Rückbau anfallenden / geeigneten Betonelemente) liegt bspw. beim P2-Typ, massebezogen betrachtet, zwischen 53 % und 76 % (vgl. Kap. 7). Demzufolge bräuchte die Hälfte bis zu drei Viertel der Betonmassen nicht als Abfall entsorgt werden. Zudem entfällt für diese Mengen die Vorzerkleinerung der Betonelemente in transport- bzw. recyclingfähige Massen (verkürzter Baggereinsatz) auf der Demontagebaustelle und der Transportumfang zur RC-Anlage. Daraus resultieren interessante Kosteneinsparungen.

Darüber hinaus ist es möglich, durch den Verkauf der Altbetonelemente, einen Erlös zu erzielen. Der Preis wird derzeit meistens individuell zwischen den Partnern (Rückbauunternehmen und Interessent / Kunde) ausgehandelt. Z. B. werden für (rückgebaute) Deckenplatten zwischen 3 und 4 €/m² Betonelementfläche bezahlt. Damit kostet z.B. eine Spannbetondeckenplatte vom P2-Typ, 6,00 m lang und 1,80 m breit (Systemmaße), zwischen 33 € und 43 €. Eine neu gefertigte Deckenplatte adäquater Abmessungen kostet vergleichsweise rd. 252 € bis 380 € (Stand II/2008)⁸¹. Würde die Platte in Gänze der RC-Anlage zugeführt werden, entstünden Kippgebühren in Höhe von 270 € pro Element. D.h. die Entsorgung ist ungefähr genauso teuer wie eine neu hergestellte Platte.

⁸⁰ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Schlussbericht zum Forschungsvorhaben „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“, Teil 1 Krangeführter Rückbau, S. 266

⁸¹ Mettke, Angelika: Die Verwendung von rückgebauten Plattenbauelementen aus Norddeutschland in Russland – Anforderungen und Chancen, Vortragsunterlagen, Vortrag auf der 12. Fachtagung „Spannungsfeld Abbruch – Preise, Nachträge, Qualität, Vertrauen“, 29.05.2008 in Rostock

Die Personalkosten haben an den Gesamtkosten mit 39 % beim Teiltrückbau des WBS 70 bzw. mit 57 % beim Teiltrückbau des Blockbaus den größten Anteil (s. Tab. 4.7). I. d. R. sind 6 Arbeitskräfte bei Teiltrückbaumaßnahmen im Einsatz:

- 1 Kranführer,
- 1 Anschläger,
- 1 Abschläger,
- 2 Arbeitskräfte für Stemmarbeiten,
- 1 Hilfskraft.

Diese Personaldecke ist kaum verringerbar. Daher kann diese Kostenposition nur reduziert werden, indem Tätigkeiten optimal koordiniert werden. Deshalb sind insbesondere die vorbereitenden Arbeiten (kranunabhängige Arbeiten) in enger Abstimmung mit der eigentlichen Demontage zu planen und auszuführen. Hierzu zählen u.a. die Festlegung der Demontagereihenfolge der Elemente unter Berücksichtigung der statischen Erfordernisse, der zeitliche Vorlauf der kranunabhängigen Arbeiten vor der eigentlichen Demontage sowie eine effizient eingerichtete Baustelle, wie z.B. die systematische Anordnung der Container und ihre Bereitstellung sowie die Vorbereitung der Zwischenlagerplätze.

Der höhere Personalkostenanteil bei Rückbaumaßnahmen von Blockbauten begründet sich in der hohen Anzahl verbauter Elemente von ca. 150 Stck. pro Wohnung – im Vergleich zu ca. 30 Elementen der Plattenbauweise (vgl. Abb. 4.3) – und dem sich daraus ergebenden höheren Aufwand für manuelle Tätigkeiten.

Der Maschinen- und Geräteeinsatz schlägt beim Plattenbau mit 31 % und beim Blockbau mit 25 % gemessen an den Gesamttrückbaukosten zu Buche. Dass die Kranart, die zum Einsatz kommt, auf die Kostenhöhe Einfluss hat, wurde in Kap. 4.8.2 aufgezeigt. Daneben hat der Einsatz eines Baggers zur Vorzerkleinerung der Bauelemente einen hohen Anteil an den Kosten (vgl. Abb. 4.21).

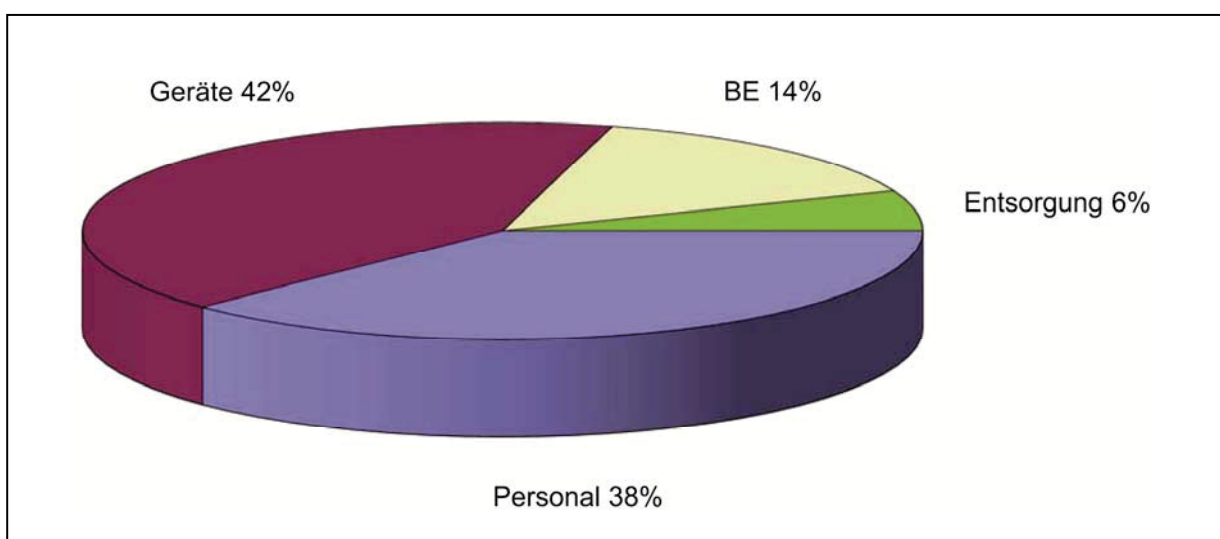


Abb. 4.21: Darstellung der anteiligen Kosten für die Demontage⁸²

⁸² Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1 Krangeführter Rückbau, 2008, S. 274

4.9 Verfahrenstechnische Auswirkungen der Demontage auf den Bauzustand der Betonelemente und Ableitung von präventiven Maßnahmen

In Abhängigkeit der Qualität des Verguss- und Fugenbetons und der Arbeitsweise zum Öffnen der Fugen und Trennen der Verbindungsmittel wurden – bis auf wenige Ausnahmen – entweder keine oder nur geringfügige Beschädigungen identifiziert.

Die Frage der möglichen Beeinflussung des Bauzustandes durch die Demontage (inkl. Transport-, Umschlag-, Lagerungsprozesse (TUL)) stellt sich im Zusammenhang der Entscheidungsfindung zur Wieder- u./o. Weiterverwendungsfähigkeit der Betonelemente (vgl. Kap. 7.2).

4.9.1 Typische Beschädigungen infolge der Demontage

An ausgebauten Betonelementen wurden im Zuge der wissenschaftlich begleitenden Untersuchungen folgende Veränderungen, Beschädigungen oder Schäden im Vergleich zum eingebauten Zustand registriert⁸³:

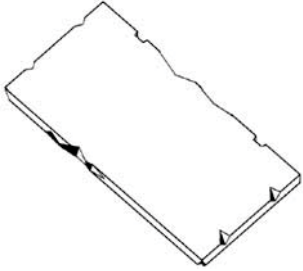

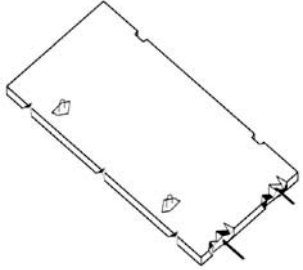

- mechanische Beschädigungen/Betonausbrüche im Bereich der Tragösen,
- lokale Betonabplatzungen und –ausbrüche an Ecken und Kanten und infolgedessen teilweise Freilegung von Bewehrungseisen,
- Anhaftungen von Beton- und Mörtelresten an Fugenrändern unterschiedlichen Ausmaßes,
- Risse mit unterschiedlichem Verlauf sowie in unterschiedlicher Größe,
- fehlende, deformierte oder korrodierte Tragösen und Verbindungseisen,
- anhaftende Einbau- und Ausbaumaterialien (Fliesen, Leerrohre, Estrich, Blendrahmen usw.).

Die hauptsächlich entstandenen Veränderungen, Erscheinungs- oder Schadensbilder an Deckenplatten, Innen- und Außenwänden der Plattenbauweise sind nachstehend aufgezeigt.⁸⁴

⁸³ erweitert nach Mettke, Angelika; Lassan, Bärbel; Britze, Mathias: Schadensbilder von demontierten Betonfertigteilen, Cottbus, 2004, S. 2

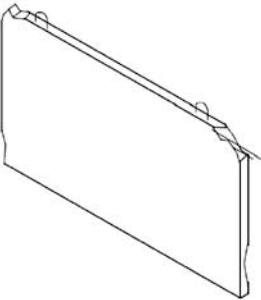

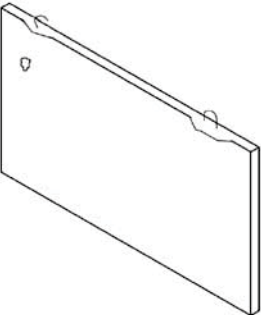
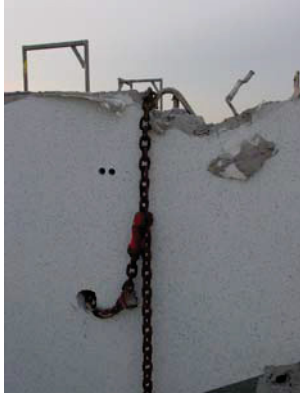
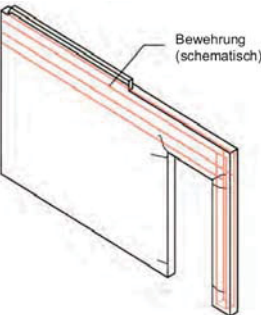

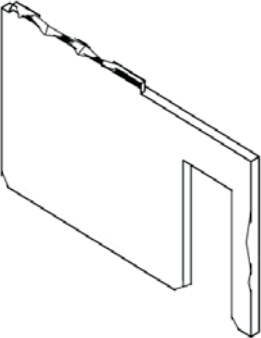

⁸⁴ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan, Evgeny Ivanov: Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa, Endbericht-Bearbeitungsphase I zum Forschungsvorhaben „Wissenschaftliche Vorbereitung und Planung des Rückbaus von Plattenbauten und der Wiederverwendung geeigneter Plattenbauteile in Tschechien“, Cottbus, 2008, S. 154 ff.

Tab. 4.8: Schadensbilder an demontierten Deckenplatten

Mögliches Erscheinungs-/ Schadensbild nach der Demontage	Schadensmerkmale	Schadensursache	Reale Darstellung
	Abplatzungen an Ecken und Kanten, Stirnseiten	Trennprozess (Stemmarbeiten)	
	Beton- und Mörtelreste an den Seitenrändern, Ausbrüche an freigelegten Tragösen	Freilegen der Tragösen (Stemmarbeiten)	

Überwiegend wurden die Kanten der Deckenplatten beim Abstemmen, v.a. beim Einsatz von Mini-baggern mit Anbaumeißel, beschädigt. Beim Freilegen der Tragösen kann es sogar passieren, dass die Platte durchgeschlagen wird (vgl. Bild Mitte, Spalte Reale Darstellung, Tab. 4.8). Wurden die Fugen oder Verbindungseisen nicht vollständig durchtrennt, führte dies zu Betonausbrüchen.

Tab. 4.9: Mögliche Schadensbilder an demontierten Innenwandelementen

Mögliches Erscheinungs-/ Schadensbild nach der Demontage	Schadensmerkmale	Schadensursache	Reale Darstellung
	Betonabplatzungen an Ecken und Kanten, freiliegende Bewehrung; Schäden treten häufiger an der Oberkante des Wandelementes auf	Nicht sachgemä- ßer Trennprozess (Stemmarbeiten)	
	Beschädigungen von Tragösen, Bohrungen im Element (alternatives Anschla- gen) Betonausbrüche an den Tragösen	Trennprozess, mechanische Ein- wirkungen	
	Oberflächen- und Biege- risse	äußere Belastun- gen / Spannungen bei der Demontage	
	Betonabplatzungen an Ecken und Kanten	Trennprozess (Stemmarbeiten)	

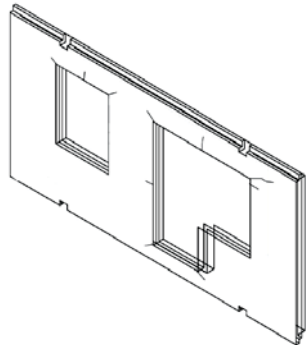

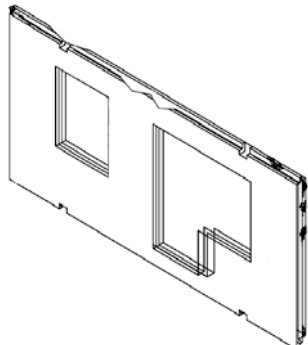

Betonausbrüche und –abplatzungen an den Rändern der Innenwände resultieren aus den Stemmarbeiten beim Öffnen der Fugen. Wie bei den Deckenplatten festgestellt, ist bei maschinellm Einsatz (Minibagger mit Anbaumeißel) eher mit Beschädigungen zu rechnen als bei handgeführten Abbruchhämmern.

Die in Vorbereitung der Demontage hergestellten Bohrungen zur Schaffung alternativer Anschlagpunkte sind teilweise weiter aufgebrochen gewesen. Offensichtlich sind weder Tragbolzen noch Rohrhülsen verwendet worden, die eine solche Beschädigung ausschließen.

Innenwände mit Türöffnungen wiesen z.T. Risse in den Ecken auf, wie in der Zeile 3 der Tab. 4.9 abgebildet ist. Der Türschaft, als schmales Konstruktionsteil, ist eine Schwachstelle, der bei der Demontage besonderes Augenmerk geschenkt werden sollte.

An mehrschichtigen Außenwänden sind nur geringfügige Betonabplatzungen festgestellt worden (s. Tab. 4.10): an der Tragschicht im Bereich der aufgestemmtten Verbindungen. Zum Teil stellen sich Risse an den Türschwellen der Balkontüren ein und im Bereich der Fensteröffnungen, was auf die ungenügende Freilegung der Fuge zurückzuführen ist.

Tab. 4.10: Mögliche Schadensbilder an demontierten Außenwandelementen

Mögliches Erscheinungs-/Schadensbild nach der Demontage	Schadensmerkmale	Schadensursache	Reale Darstellung
	Oberflächen- und Biegerisse	äußere Belastungen / Spannungen bei der Demontage	
	Leichte Betonabplatzungen an Ecken und Kanten vorwiegend außen-seitig, Beton- und Mörtelreste an Seitenrändern, teilweise freiliegende Bewehrung, teilweise Verbindungsstähle freiliegend mit beginnender Korrosion	Trennprozess (Stemmarbeiten)	

Außerdem ist den TUL-Prozessen besondere Aufmerksamkeit zu schenken, um (weitere) Beschädigungen an den Betonelementen auszuschließen. Denn mit der Zunahme der Anzahl der Umschläge steigt die Gefahr, die Elemente zusätzlich zu beschädigen. Deshalb müssen den Transport-, Umschlag- und Zwischenlagerungsprozessen im Rahmen der Wieder- und / oder Weiterverwendung eine entsprechende Sorgfalt und Effizienz zuteil werden.

Beim Transport und bei der Zwischenlagerung der Elemente ist darauf zu achten, dass eine fachgerechte Anordnung der Stapelhölzer erfolgt. Denn fast ausschließlich sind die Beschädigungen auf ein unsachgemäßes Handling und unqualifizierte Zwischenlagerungen der Betonelemente zurückzuführen.

Um Beschädigungen an Betonelementen zu verringern oder auszuschließen, sind präventive Maßnahmen – so wie sie für neue Betonelemente gelten – unabdingbar.

4.9.2 Präventive Maßnahmen zur Verminderung von Beschädigungen

Alle o. a. Beschädigungen, hervorgerufen durch die Demontage- und TUL-Prozesse, sind vermeidbar, wenn:

- mit qualifizierten Arbeitskräften ordnungsgemäß und gesetzeskonform gearbeitet wird,
- die Fugen über die gesamte Bauteillänge /-breite d.h. komplett geöffnet werden und
- das Losreißen der Elemente aus dem Verbund unterbleibt.

Zur Sicherung des Türschafftes gegen äußere Beanspruchungen wird empfohlen, im Fußbereich wieder – so wie bei der Montage mit einem Stabeisen gesichert – eine Stützung vorzunehmen. Bspw. könnte ein Bandeisen oder Flachstahl angebracht werden, das erst nach endgültiger Einbaulage des Elementes zu entfernen ist. Eine Schraubverbindung erweist sich hierbei als vorteilhaft.

Von Vorteil ist es zudem, wenn das Rückbau- / Demontageteam auch die Remontage ausführt. Dies bewirkt von Anfang an einen sorgfältigen fachgerechten Umgang mit den vorhandenen baulichen Ressourcen (Bauelementen). Um den Aufwand für die Aufarbeitungen, in Vorbereitung der Altbetonelemente auf ihre Nachnutzung, so gering wie möglich zu halten, würden sich die mechanischen Beschädigungen auf ein Mindestmaß reduzieren. D.h., die Aufarbeitungen würden sich hauptsächlich auf die Schließung der Bauteilöffnungen für die alternativen Anschlagpunkte konzentrieren.

Die Ergebnisse der Bauzustandsuntersuchungen über den gesamten Rückbauprozess an einem Fallbeispiel⁸⁵ wiesen folgende Verluste auf, die zur Aussortierung der Bauteile führten:

- ca. 5 – 10 % Deckenplatten (= 4 Deckenplatten),
- ca. 10 – 15 % Innenwände (= 5 Innenwände),
- bis zu 5 % Außenwände (= 2 Außenwände)

jeweils bezogen auf die insgesamt rückgebaute Elementeanzahl.

Dieses Ergebnis stützt (lediglich) das Erfordernis, vorbeugende Maßnahmen zur Verhinderung von zusätzlichen Beschädigungen einzuplanen.

⁸⁵ Mettke, Angelika; Heyn, Sören: Ergebnisse der Untersuchungen zum Bauzustand der zwischengelagerten Elemente für den Bau des Vereinshauses Gröditz 1911 e.V., Auswertungsbericht, BTU Cottbus, 2005

4.10 Ökologische Bewertung des Prozesses Rückbau im Vergleich zum Abbruch

4.10.1 Einleitung

Unter dem Gesichtspunkt, nachhaltig zu bauen bzw. rückzubauen, wurde bereits vor 10 Jahren im Rahmen der Forschung für das Landesamt für Umwelt und Geologie, Freistaat Sachsen, eine ökologische Bewertung für den Rückbau im Vergleich zum Abbruch durchgeführt⁸⁶. Dabei mussten etliche Annahmen getroffen werden, weil nicht genügend Aufwandsdaten zur Verfügung standen. Unter Verwendung eigener Messdaten und aktuellen Daten aus der Literatur wurden im Rahmen des BMBF-Forschungsvorhabens „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“ der energetische Aufwand und daraus ableitend die Emissionsbelastung für Rückbau und Abbruch neu berechnet.⁸⁷

Basis der Untersuchungen bildet ein 6-geschossiger Plattenbau der WBS 70 mit 4 Eingängen, bei dem sowohl ein Teilrückbau als auch der Abbruch realisiert wurden. Die Parameter des Wohngebäudes in Form eines Gebäudesteckbriefes sind:

- 72 Wohneinheiten,
- 2.720 m² Wohnfläche,
- 3.730 m² umbauter Raum,
- 1.260 Elemente mit einem Gesamtgewicht von rund 4.100 t.

Der Teilrückbau umfasste 1,5 Eingänge mit rund 1.180 t Beton(elemente)massen, der Abbruch 2,5 Eingänge mit etwa 2.920 t Beton(elemente)massen.

Das Ziel, der hier betrachteten Aufwände zum Rückbau und Abbruch aus ökologischer Sicht zu bewerten, besteht darin, aufzuzeigen mit welchem Verfahren Energie eingespart bzw. Emissionen eingedämmt werden können. Zugrunde gelegt wird der Verbrauch von Energie für die zum Einsatz gekommenen Maschinen und Geräte und die daraus resultierende Belastung der Luft durch atmosphärische Emissionen. D.h., in nachstehender Berechnung ist nur der direkte Energieaufwand inkl. der Umweltauswirkungen erfasst, der sich aus den vorbereitenden Maßnahmen (kranunabhängige Aufwendungen) und der direkten Demontage (kranabhängige Aufwendungen) bzw. aus dem Abbruch ergibt. Nicht berücksichtigt sind hier die indirekten Umweltauswirkungen, die aus Staub- und Lärmemissionen sowie Erschütterungen resultieren und deren Bewertung hinsichtlich der Einhaltung der Emissions- sowie Immissionswerte (s. Kap. 8.2.4 und 8.2.5). Daneben ist auch der Wasserverbrauch, der bspw. für die Eindämmung der Staubbelastungen während des Abbruchs erforderlich ist, nicht berücksichtigt. Auch die Einflüsse, die sich aus dem An- und Abtransport der Maschinen und Geräte (Kran, Bagger etc.) ergeben, sind nicht definiert. Insofern sind die ermittelten ökologischen Parameter lediglich als eine erste Orientierung im Rahmen des Entscheidungsprozesses bei der Beseitigung von industriell errichteten Gebäuden zu verstehen.

⁸⁶ Mettke, Angelika, Thomas, Cynthia: Wiederverwendung von Gebäude und Gebäudeteilen, Materialien zur Abfallwirtschaft, 1999, S. 91 ff.

⁸⁷ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“, Teil 1: Krangeführter Rückbau, 2008, S. 275 ff.

4.10.2 Screening des Energieaufwandes für den krangeführten Rückbau

Die gemessenen Einsatzzeiten der Maschinen und Geräte während des Rückbauens bilden die Grundlage für die Ermittlung des Energieaufwandes. Im Schlussbericht⁸⁸ sind die Einsatzzeiten detailliert aufgeführt. In nachstehender Tab. 4.11 sind sie in komprimierter Form dokumentiert.

Für den Teilrückbau des hier exemplarisch bewerteten Fallbeispiels ist ein Fahrzeugkran (FZK) zum Einsatz gekommen. Alternativ ist ein Turmdrehkran (TDK) in die Berechnung eingeflossen, um auch innerhalb der Maßnahme (Strategie) den Großgeräteinsatz zu bewerten. Durch die Hochrechnung der ermittelten Parameter – der zum Einsatz gekommenen Maschinen und Geräte und deren Einsatzzeit – auf den fiktiven krangeführten Rückbau bzw. Abbruch des gesamten Gebäudes ist eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse möglich.

Der Energieaufwand ergibt sich aus:⁸⁹

$$E_G = \sum_{i=1}^k P_{M,i} \cdot t_{M,i} \cdot f_{M,i} \cdot V_{M,i} \cdot (PEI_i + H_{u,i}) \quad (4.3)$$

E_G	Gesamtenergiebedarf der Demontage [MJ]
$P_{M,i}$	Leistung eingesetzter Maschinen und Geräte [kW]
$t_{M,i}$	Maschinennutzungszeit [h]
$f_{M,i}$	Auslastungsfaktor der Maschinen und Geräte je Arbeitsgang
$V_{M,i}$	spezifischer Energieverbrauch entsprechend der Auslastung [l/kWh]
PEI_i	Primärenergieinhalt spezifischer Energieträger [MJ/l] bzw. bei elektrischer Nutzenergie [MJ/kWh]
$H_{u,i}$	Heizwert spezifischer Energieträger [MJ/l] bzw. elektrische Nutzenergie [MJ/kWh]

⁸⁸ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1: Krangeführter Rückbau, 2008, S. 277

⁸⁹ Mettke, Angelika; Thomas, Cynthia: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, Materialien zur Abfallwirtschaft 1999, S. 94

Tab. 4.11: Energieaufwand zur Demontage eines 6-geschossigen Wohnblocks der WBS 70 mit 4 Segmenten / 4 Eingängen (Werte gerundet)

	Gerät / Maschine	Leistung ¹⁾ $P_{M,i}$ [kW]	Arbeitszeit $t_{M,i}$ [h]	Auslastung ²⁾ $f_{M,i}$ [%]	realer Energiebedarf [kWh]	Energie-träger	spez. Verbrauch Auslastung ³⁾ $V_{M,i}$ [l/kWh]	Bedarf [l] [kWh]	PEI _{ET} + $H_{u,i}$ [kW]	E_G [MJ]
	Zeile / Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Ermittlungsgrundlagen [s. (4.3)]				1 x 2 x 3			4 x 6		7 x 8
1	Fahrzeugkran (FZK)	149	595	75	66.491	Diesel	0,27 ⁴⁾	17.953	35,3 ⁵⁾	633.740
2	Turmdrehkran (TDK)	149	595	75	66.491	Strom	(1 kWh = 3,6 MJ)	239.369	1,21 ⁶⁾	289.636
3	Minibagger	10,3	115	75	888	Diesel	0,27 ⁴⁾	240	35,3 ⁵⁾	8.472
4	Bohrhammer	1,15	47	75	41	Strom	(1 kWh = 3,6 MJ)	148	1,21 ⁶⁾	179
5	Schneidbrenner	22,9	24	100		Acetylen				550
		Gesamtenergiebedarf mit FZK (ΣE_G aus Zeile 1+3+4+5)								642.941
		Gesamtenergiebedarf mit TDK (ΣE_G aus Zeile 2+3+4+5)								298.837

1) Leistungsparameter lt. Geräte- / Maschinenherstellerangaben

2) Annahme

3) berücksichtigte Aufwendungen zur Bereitstellung der Energie und Energieinhalt des Energieträgers nach GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme)⁹⁰

4) Kran und Minibagger werden mit Diesel betrieben. Zur Erzeugung der Leistung von 1 kWh werden bei einer Auslastung von 75 % ca. 0,27 l Diesel eingesetzt⁹¹

5) Primärenergie Diesel 35 bis 38 MJ/l, Benzin 32 MJ/l⁹²

6) PEI = 0,21 MJ/MJ_{Nutz} : um 1 MJ an Energie nutzen zu können, müssen 0,21 MJ bei der Herstellung bereitgestellt werden

Demnach würde der Energieaufwand für den krangeführten Rückbau des gesamten Wohnblocks mit FZK rund 643 GJ und mit TDK nur rund 299 GJ betragen. Bezogen auf 1 Tonne rückzubauendes Betonbauteil ergeben sich ~ 157 MJ bei FZK- und ~ 73 MJ bei TDK-Einsatz (vgl. Abb. 4.22). Damit ergibt sich ein klarer Vorteil für den TDK-Einsatz. Der Energieaufwand für den FZK ist mehr als doppelt so hoch wie der eines TDK's.

⁹⁰ Mettke, Angelika; Thomas, Cynthia: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, Materialien zur Abfallwirtschaft 1999, S. 149

⁹¹ ebenda, S. 150

⁹² Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1: Krangeführter Rückbau, 2008, S. 278, vgl. auch www.bigdo.de/lexikon/64_heizwert.html; aufgerufen am 14.12.2008

4.10.3 Energieaufwand für den Abbruch

Der Abbruch der 2,5 Eingänge des WBS 70-Wohnblocks wurde mit 2 Bagger (30 t und 40 t Traglast) in 176 h realisiert. Die Hochrechnung auf den Abbruch von 4 Eingängen des gesamten Wohnblocks ergibt rund 290 Einsatzstunden. Die Bagger werden mit Diesel betrieben. Zur Erzeugung der Leistung von 1 kWh werden bei einer Auslastung von 50 % (abgeschätzt) ca. 0,28 l Diesel⁹³ eingesetzt (vgl. Tab. 4.12)

Tab. 4.12: Energieaufwand für den Abbruch eines 6-geschossigen Wohnblocks vom Typ WBS 70⁹⁴

Gerät	Leistung* [kW]	Energie- träger	Einsatz- zeit [h]	Aus- lastung [%]	realer Energie bedarf [kWh]	spez. Verbrauch Ausl. [l/kWh]	Bedarf [l]	PEI _{ET} [MJ/l]	E _G [MJ]
Bagger (30 t)	130	Diesel	250	50%	16.250	0,27	4.550	35,3	160.615
Bagger (40 t)	220	Diesel	250	50%	27.500	0,27	7.700	35,3	271.810
Gesamtenergiebedarf E_G									432.425

* Leistungsparameter lt. Maschinenherstellerangaben

Der Energieaufwand für den Komplettabbruch beläuft sich demnach auf ca. 433 GJ. Um 1 t Bauschutt zu erzeugen, sind demnach ungefähr 106 MJ Energie erforderlich (s. Abb. 4.22).

4.10.4 Emissionsbetrachtung

Während bereits vielfältige Informationen über die Umweltrelevanz der Prozesse zur Herstellung von Bauprodukten vorliegen, ist die Kenntnis über die direkt auftretenden Belastungen aus dem Rückbau- und Abbruchprozess von industriell errichteten Gebäuden relativ gering.

Innerhalb der allgemeinen wissenschaftlichen und politischen Diskussionen steht derzeit die Reduktion des CO₂-Ausstoßes im Vordergrund. Dennoch ist dies auch nur ein Teilziel, denn eine global nachhaltige Entwicklung verlangt einen sorgfältigen Umgang mit allen Ressourcen.

Die hier aufgezeigten Emissionsbetrachtungen beschränken sich auf die Analyse atmosphärisch relevanter Stoffe CO₂⁹⁵, SO₂ und NO_x, die aus den Energieaufwendungen des Geräte- und Maschinenparks für den Rückbau und Abbruch resultieren und aufgrund ihrer freigesetzten Mengen die Umwelt negativ beeinflussen (vgl. Tab. 4.13).

⁹³ Mettke, Angelika; Thomas, Cynthia: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, Materialien zur Abfallwirtschaft 1999, S. 150

⁹⁴ Mettke, Angelika, Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1: Krangeführter Rückbau, 2008, S. 279

⁹⁵ Angesichts der neuesten wissenschaftlichen, besorgniserregenden Erkenntnisse zum Klimawandel fordert der WWF (World Wide Fund For Nature) eine Senkung der CO₂-Emissionen in der gesamten EU bis 2020 um mind. 30 % gegenüber den Werten von 1990 [WWF: Gabriel darf 30 prozentiges CO₂-Reduktionsziel der EU nicht torpedieren; www.daylinet.de/energiemwelt/27860.pttp, aufgerufen am 16.12.2008]

Tab. 4.13: Quellen, Verursacher und Wirkungen klimarelevanter Stoffe⁹⁶

Schadstoff	Quelle	Hauptsächliche Verursacher	Wirkung
CO ₂	Verbrennung fossiler Brennstoffe (Erdöl, Erdgas und Kohle)	Industrie, produzierendes Gewerbe, Verkehr, Energieversorgung, Kleinverbraucher	Treibhauseffekt
SO ₂	Verbrennung schwefelhaltiger fossiler Brennstoffe (Kohle, Heizöl (schwer) und Treibstoffe)	Feuerungsanlagen der Energiewirtschaft, der Industrie und des Kleinverbrauchers	Vorläufersubstanz des „Sauren Regens“, neuartige Waldschäden
NO _x	Verbrennung fossiler Brennstoffe bei hohen Temperaturen	Verkehr	Vorläufersubstanz des troposphärischen Ozons, mitverantwortlich für die Versauerung und Eutrophierung (Überdüngung) von Boden und Gewässern

Grundlage für die Berechnung der energetisch bedingten Emissionen bilden die Emissionsdaten für die Strom- und Dieselerstellung. Als Erfassungsansatz wird auf Tab. 4.14 verwiesen. Die Emissionsdaten beziehen sich auf das Jahr 2005.

Tab. 4.14: Emissionsdaten für Elektroenergiemix und Diesel, [GEMIS⁹⁷ 4.5, Stand Februar 2009]

Energieträger	Emissionsfaktor [kg/TJ _{Endenergie}]		
	SO ₂	NO _x	CO ₂
Elektroenergiemix	107,037	175,766	178.885
Diesel	77,386	-	74.396

Anhand der ermittelten Energieaufwände für die Demontage mittels FZK oder TDK und für den Abbruch mittels Bagger eines komplett zu beseitigenden 6-geschosigen Plattenbaus mit 4 Eingängen stellen sich die Emissionen wie folgt dar:

⁹⁶ erweitert nach Mettke, Angelika, Thomas, Cynthia: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, Langfassung, 1999, S. 328; vgl. auch www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/luft/...; aufgerufen am 15.12.2008

⁹⁷ GEMIS berechnet nicht nur die direkten bei der Verbrennung entstehenden Emissionen aus Energiesystemen (Kraftwerke, Stromimporte, Öl-, Kohle-, Gasbereitstellung usw.), sondern auch sämtliche vor- und nachgelagerte Emissionen (Gewinnung, Transport, Verarbeitung)

Tab. 4.15: Emissionen bei der Demontage und Abbruch eines Wohnblocks der WBS 70 (6-geschossig, 4 Eingänge) (Werte gerundet)

	Gesamtbedarf* [TJ]	spezifische Emissionen** [kg/TJ]			Emissionen [kg]		
		SO ₂	NO _x	CO ₂	SO ₂	NO _x	CO ₂
Demontage FZK							
Diesel	0,6422	77,386	-	74.396	49,697	-	47.778,111
Strom	0,0002	107,037	175,766	178.885	0,021	0,035	35,778
Summe					49,718	0,035	47.813,889
Demontage TDK							
Strom	0,2899	107,037	175,766	178.885	31,030	50,955	51.858,762
Diesel	0,0085	77,386	-	74.396	0,658	-	632,366
Summe					31,688	50,955	52.491,128
Abbruch							
Diesel	0,4324	77,386	-	74.396	33,462	-	32.168,830

* s. Tab. 4.11

** s. Tab. 4.12 und 4.14 ;

Maßeinheit Terra = 10¹² (Billion)

4.10.5 Vergleich der Rückbau- / Abbruchmethoden aus ökologischer Sicht

Eine Gegenüberstellung des ermittelten Gesamtenergiebedarfs für den Rückbau und Abbruch des exemplarisch zugrunde gelegten 6-geschossigen WBS 70 mit 4 Eingängen (ca. 4.100 t Betonbauteile verbaut) ergibt bezogen auf 1 Tonne Betonbauteil folgendes Bild (Abb. 4.22):

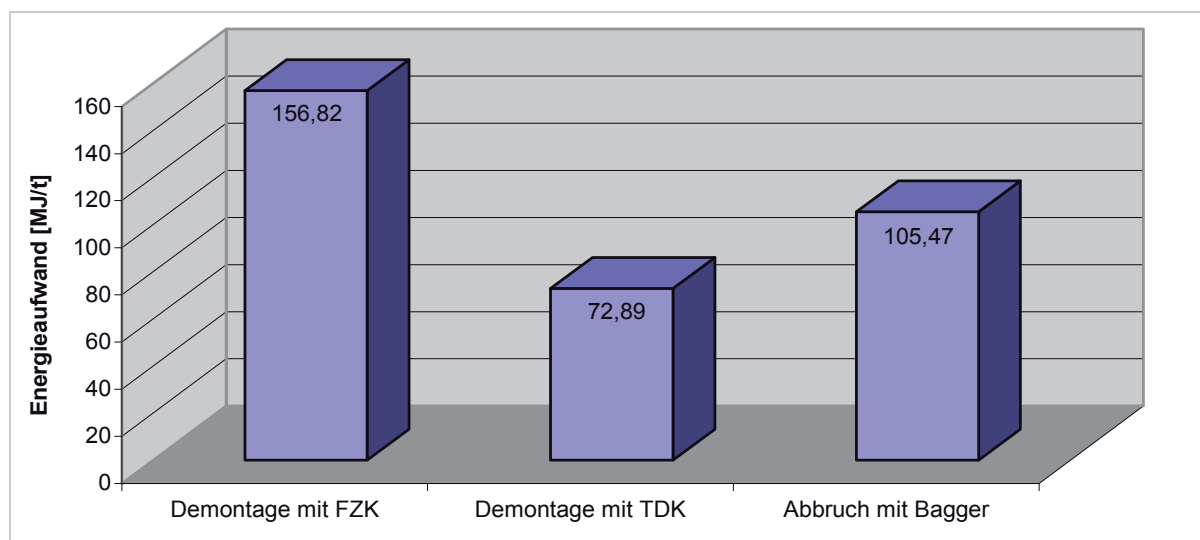


Abb. 4.22: Vergleich der Energieaufwände für Demontage und Abbruch für 1 Tonne Betonbauteil

Die grafische Darstellung verdeutlicht, dass der energetische Vorteil beim Einsatz eines Turmdrehkranes besteht.

In Abb. 4.23 werden die energiebedingten CO₂-Emissionen – bezogen auf 1 Tonne rückzubauendes bzw. abzubrechendes Betonbauteil – in Abhängigkeit der Rückbau- / Abbruchmethoden gegenübergestellt:

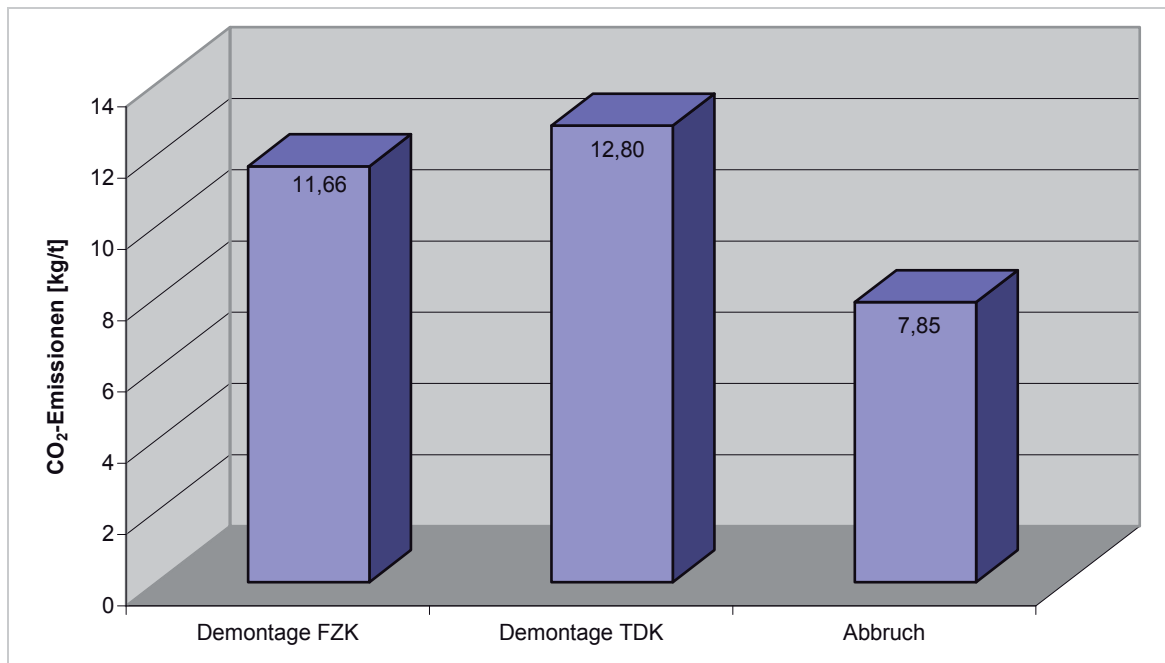


Abb. 4.23: Vergleich der CO₂-Emissionen bei der Demontage und beim Abbruch für 1 Tonne Betonbauteil

Der Vergleich der CO₂-Emissionen der untersuchten Abbruchtechnik zeigt, dass der Abbruch emissionsärmer als der Rückbau ist. Die CO₂-Emission beim Abbruch beträgt nur knapp ⅔ im Vergleich zu den beim Rückbau entstehenden CO₂-Emissionen.

Der Vergleich der Emissionen von SO₂ und NO_x auf 1 Tonne Betonbauteil bezogen ist grafisch in der Abb. 4.24 zusammengefasst.

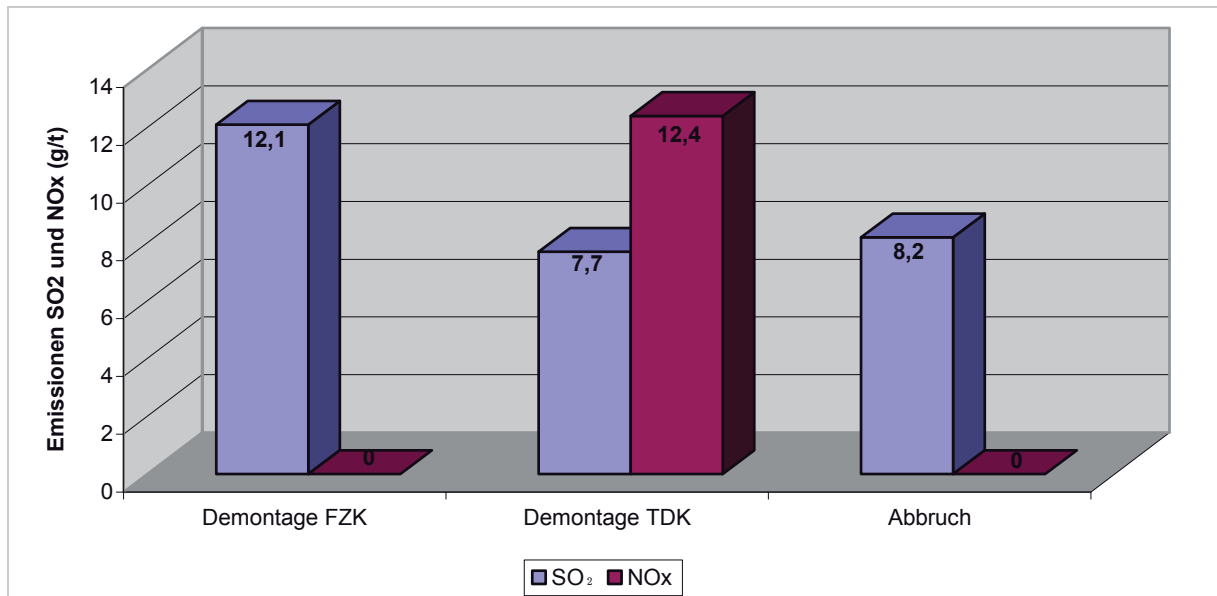


Abb. 4.24: Vergleich der SO₂- und NO_x-Emissionen bei der Demontage und beim Abbruch für 1 Tonne Betonbauteil

Die energiebedingten SO₂-Emissionen sind geringfügig beim TDK-Einsatz von Vorteil im Vergleich zum Abbruch und deutlich zur Demontage mit FZK. Der TDK-Einsatz bewirkt allerdings hohe NO_x-Stäube aufgrund des Energieträgers Strom.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Energieaufwand bei der Demontage unter Einsatz eines TDK um etwa ⅓ günstiger ist im Vergleich zum Abbruch und um beinahe die Hälfte günstiger ist gegenüber der Demontage mit FZK.

Die ermittelten CO₂-Emissionen fallen beim Abbruch im Vergleich zur Demontage um etwa 37 % geringer aus. Mit ca. 4,7 kg und 3,8 kg geringeren CO₂-Emissionen pro Tonne abgebrochenes Material resp. erzeugten Bauschutts, schneidet der Abbruch besser ab als die Demontage. Zwischen TDK- und FZK-Einsatz gibt es hinsichtlich der Freisetzung von CO₂ keine deutlichen Unterschiede. Etwa 900 g höhere CO₂-Emissionen sind beim TDK-Einsatz gegenüber dem FZK bezogen auf 1 Tonne zurückgebautes Betonfertigteilelement ermittelt worden.

Die SO₂-Emissionen fallen bei der Demontage mit TDK am geringsten aus. Der Abstand zum Abbruch ist mit 0,6 g/t nur unmerklich günstiger, aber im Vergleich zur Demontage mit FZK um 4,5 g/t geringer. Allerdings kehrt sich das Bild bei der Betrachtung der Stickstoffoxid-Emission um. Der TDK-Einsatz verursacht aufgrund des Energieträgers Strom NO_x-Stäube von 12,2 g beim Rückbau von 1 Tonne Betonfertigteile. Wie aus den Emissionsdaten nach GEMIS 4.5-Version hervorgeht, emittieren seit 2005

beim Energieträger Diesel keine Stickoxide mehr. In der GEMIS 4.2-Version wurden für Diesel die NO_x-Emissionen noch mit 1,381 kg/TJ Input ausgewiesen.⁹⁸

Die Umsetzung von technischen Maßnahmen gemäß den Abgasvorschriften hat zur Reduktion der Luftschadstoff-Emissionen, auch von Stickoxiden, geführt und dies wurde in der aktuellen GEMIS-Version berücksichtigt.

Emissionsminderungsraten sind bei den CO₂-Emissionen durch den Einsatz von CO₂-freier Stromerzeugung möglich und notwendig.

⁹⁸ Aufgrund der aktuellen Datenlage unter Verwendung von GEMIS 4.5 ist die Emissionsbewertung im Vergleich zu den eigenen vorangegangenen Forschungsarbeiten in einigen Punkten nicht mehr ganz identisch.

5 Schadstoffe in Plattenbauten und deren spezifische Entsorgung

In Vorbereitung des „Material- und Produktrecyclings“ muss im Zusammenhang mit Abbruch- / Rückbauarbeiten von Plattenbauten das Vorliegen von Schadstoffen nachhaltig abgeklärt werden. Nachfolgend wird auf Schadstoffe eingegangen, die in Plattenbauten verbaut wurden [28], [47], [54]. Neben einer stofflichen Beschreibung der Schadstoffe wird auf wesentliche Aspekte zum Ausbau hingewiesen und der aktuelle Stand der Technik zur Entsorgung aufgezeigt.

In Plattenbauten ist hauptsächlich mit dem Vorhandensein asbesthaltiger Materialien, teerhaltiger Dach- und Sperrpappen sowie Mineralwolleprodukten (KMF) zu rechnen. Die Verbreitung der jeweiligen Stoffgruppen stellt sich im zeitlichen und regionalen Bereich allerdings sehr unterschiedlich dar. Selbst innerhalb eines Gebäudetyps und sogar innerhalb eines Wohnblockes schwankt ihr Einsatz. Dies hat zur Folge, dass für jedes abzubrechende oder rückzubauende Gebäude die Schadstoffarten, deren Fundstellen und flächige Ausdehnung, die Belastungshöhe und die sich daraus ergebenden Massen detailliert auszuweisen sind (Schadstoffkataster).

Die Verantwortung für die Schadstofferkundung liegt beim Bauherrn; gleichwohl hat er die geordnete Entsorgung sicherzustellen. Folglich wird eine qualifizierte Beprobung und Beurteilung zur Erfassung möglicher Kontaminationen in Vorbereitung eines Abbruchs oder Rückbaus unumgänglich.⁹⁹

5.1 Rechtliche Grundlagen

Beim Umgang mit Schadstoffen bestehen eine Reihe rechtlicher Regelungen, die den Schutz vor schädlichen Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt haben. Es gelten neben den Regelungen des

- Immissionsschutzrechtes,
- Chemikalienrechtes,
- Abfallrechtes,
- Wasserrechtes,
- Baurechtes,

und deren Verordnungen, v. a. die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)¹⁰⁰ sowie die jeweiligen Anforderungen der „Technischen Regeln für Gefahrstoffe“ (TRGS) in den aktuellen Fassungen:

- TRGS 519 Asbest: Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten – ASI-Arbeiten (Ausgabe: Januar 2007, berichtigt: März 2007),
- TRGS 521 Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit alter Mineralwolle (Ausgabe: Februar 2008),

⁹⁹ vgl. ATV DIN 18459: 2006-10: Abbruch- und Rückbauarbeiten

¹⁰⁰ Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung) vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I S.3758) in geltender Fassung; am 1. Januar 2005 in Kraft getreten.

- TRGS 524 Sanierung und Arbeiten in kontaminierten Bereichen (Ausgabe: März 1998),
- TRGS 551 Teer und andere Pyrolyseprodukte aus organischem Material (Ausgabe: Juli 1999 mit Änderungen und Ergänzungen: BArbBl. Heft 6/2003).

Von berufsgenossenschaftlicher Seite ist v. a. zu beachten:

- BGR 128 Kontaminierte Bereiche (von April 1997, aktualisierte Fassung Februar 2006).

Daneben wird auf das

- LAGA-Merkblatt „Entsorgung asbesthaltiger Abfälle“¹⁰¹ (vom 6. September 1995 in der Fassung vom 20. Februar 2001, aktualisiert aufgrund der Abfallverzeichnisverordnung (AVV) vom 10. Dezember 2001)

hingewiesen.

5.2 Asbest

5.2.1 Charakterisierung, Abbaumengen, gesundheitliche Auswirkungen, gesetzliche Einschränkungen

5.2.1.1 Stoffliche Merkmale, Eigenschaften

Asbest (griech.: asbestos = unauslöschar, unvergänglich) ist eine Sammelbezeichnung für eine Gruppe in der Natur vorkommender mineralischer Silikatfasern in 6 Modifikationen.

Überwiegend sind Asbestvorkommen an basische bzw. ultrabasische magmatische Gesteine (z. B. Basalt, Diabas, Gabbro) gebunden.

Der Asbestanteil in abbauwürdigen Lagerstätten liegt zwischen 4 und 10 bis 15 %.

Für technische Zwecke wurde am häufigsten Chrysotil (Weißasbest) verwendet. Daneben kam als Rohstoff für asbesthaltige Materialien und Produkte Krokydolith (Blauasbest) und Amosit (Braunasbest) zum Einsatz.

Aufgrund der ausgezeichneten physikalischen und chemischen Eigenschaften der Asbestfaser wie bspw.:

- nicht brennbar,
- beständig gegen Fäulnis und Korrosion,
- geringe elektrische Leitfähigkeit,
- hohe Elastizität und Zugfestigkeit,
- geringe Wärmeleitfähigkeit,
- resistent gegenüber den meisten Säuren und Laugen,
- gute Verspinnbarkeit für Schnüre, Seile, Dichtungen, Anzüge etc.,
- gute Einbindefähigkeit in anorganische und organische Bindemittel

¹⁰¹ erarbeitet von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), veröffentlicht unter „LAGA-Mitteilung 23“

wurden ungefähr 3.500 verschiedene technische Produkte in mehr als 1.000 Anwendungsformen hergestellt.¹⁰²

Kein anderer Werkstoff weist ein vergleichbares Spektrum von Vorteilen auf. Daher verwundert es nicht, dass Asbest weltweit und in großen Mengen für verschieden Anwendungen eingesetzt wurde.

5.2.1.2 Förderung und Verarbeitung von Asbest – einige Zahlen und Fakten - zeitlicher Rückblick

- **Weltweit**

Vor rund 140 Jahren begann die industrielle Verarbeitung von Asbest; forciert durch die italienische und englische Textilindustrie und mit der Entdeckung bedeutender Lagerstätten in Südafrika, Nordamerika und Russland.

Um 1900 wurden weltweit jährlich etwa 300.000 t Asbest gefördert. Mit der fortschreitenden Industrialisierung stieg der Verbrauch jährlich bis zum „Rekordjahr“ 1975 an, in dem knapp 5 Mio. t Asbest verarbeitet wurden. Seit dieser Zeit dürften insgesamt in der Welt über 200 Mio. t Asbest verarbeitet worden sein.

Seit 1975 sind die gesundheitlichen Risiken in den Industrieländern bekannt und damit reduzierte sich die Förderung von Asbest in der Welt auf 2 bis 3 Mio. t.¹⁰³

- **Deutschland**

Zwischen 1950 und 1990 sind in der BRD und DDR ca. 5,8 Mio. t Asbest verarbeitet worden.¹⁰⁴

In den alten Bundesländern sind in den 1970er Jahren die höchsten Mengen an Asbest mit etwa 180.000 t / Jahr Rohasbest verarbeitet worden. Zu 75 % wurden Asbestzementprodukte hergestellt. Im Hochbau sind etwa 900 Mio. m² Asbestzementplatten verbaut; davon ~ 300 Mio. m² unbeschichtet.¹⁰⁵

In den neuen Bundesländern wurde seit den 1970er bis Ende der 1980er Jahre jährlich etwa konstant 70.000 t Rohasbest verwendet.¹⁰⁶ In der Zeit von 1960 bis 1989 sind insgesamt 1,4 Mio. t Asbest verbraucht worden.¹⁰⁷

Hauptsächlich, zu ca. 94 %, wurde Chrysotil importiert. Zu 4 % bestand die Rohasbestmenge aus Krokydolith und zu 2 % aus Amosit.¹⁰⁸

¹⁰² Jovanovic, Ivan: Stand der Behandlung und Entsorgung asbesthaltiger Reststoffe, 1994, S. 5

¹⁰³ Huré, Philippe: Erkrankungen der Atemwege stehen in Verbindung zu Produkten wie Asbest: Reichen die präventiven Maßnahmen aus?, 28. Generalversammlung der IVSS (Internationale Vereinigung für soziale Sicherheit), Beijing, 12. – 18. September 2004, S. 2

¹⁰⁴ Jordan-Gerkens, Anke: Entsorgung von Asbestabfällen durch mechanische Faserzerstörung, 2005, S. 6

¹⁰⁵ Infozentrum UmweltWissen Asbest, Bayerisches Landesamt für Umwelt, 12/07, S. 5 f.

¹⁰⁶ DGB Technologieberatung e. V. ARBUS (Hrsg.): Gefahrstoff Asbest – Ein Ratgeber für Betriebs- und Personalräte, TÜV Thüringen / Beratungsstelle Asbestsanierung, Rudisleben, 1995

¹⁰⁷ Justen, Hans-Peter; Strübel, Günter: Verwendungskonzepte für thermische Reaktionsprodukte asbesthaltiger Massen, Oberhessische Naturwissenschaftliche Zeitschrift, Band 60, 2000, S. 4

¹⁰⁸ Jordan-Gerkens, Anke: Entsorgung von Asbestabfällen durch mechanische Faserzerstörung, 2005, S. 6

5.2.1.3 Asbestprodukte

Grundsätzlich zu unterscheiden sind¹⁰⁹:

- Produkte mit fester Fasereinbindung – fest gebundene Asbestprodukte mit einem Asbestanteil ≤ 15 Gew.-% und einer Rohdichte $> 1.400 \text{ kg/m}^3$. Dazu zählen insbesondere Asbestzementprodukte, die z. B. als gewellte und ebene Platten (ca. 80 % der Asbestzementprodukte) oder als Rohre in großem Umfang im Baubereich verwendet wurden.
- Produkte mit schwacher Fasereinbindung – schwach gebundene Asbestprodukte mit einem Asbestanteil ≥ 60 % Gew.-% und einer Rohdichte $< 1.000 \text{ kg/m}^3$. Im Gegensatz zu den fest gebundenen Asbestfaserprodukten wurden schwach gebundene v. a. im Gebäudeinnern für Brandschutz- und Isolierzwecke verwendet. Exemplarisch benannt werden Spritzasbeste, Leichtbauplatten, Brandschutzplatten, Asbestpappen, Dichtungsschnüre und Stopfmassen.

5.2.1.4 Gesundheitsgefährdung durch Asbest

Die Gesundheitsgefährdung, die von Asbest ausgeht, ist seit mehreren Jahrzehnten bekannt.

Typischerweise wird Asbest bei einer ungewollten Exposition eingeatmet. Die Aufnahme der Asbestfasern aus der Luft durch Einatmen ist für die gesundheitliche Gefährdung entscheidend¹¹⁰. Akute toxische Wirkungen gehen nicht von Asbest aus. Asbest wirkt als Langzeitfolge krankheitsverursachend. Die Inhalation von Asbeststaub kann einen fibrogenen Effekt (Narbengewebe; Entstehung von Asbestrose; Asbeststaublunge) oder einen karzinogenen Effekt bewirken. Die Latenzzeit zwischen Exposition und Krebserkrankung liegt zwischen 10 und 60 Jahren¹¹¹. Der Tumor entsteht im Lungen-, Brustfellgewebe (Pleura) oder im Gewebe des Bauchraumes (Peritoneum). Zudem steigern eingeatmete Fasern auch das Risiko für Kehlkopfkrebs.

Das Risiko der gesundheitlichen Auswirkungen beim Umgang mit Asbest steigt mit der Dauer und der Intensität der Belastung.

Die Toxizität von Asbest wird von der Faserbeschaffenheit und der Biobeständigkeit beeinflusst. Diese ist abhängig von der Asbestart. Asbestfasern $> 5 \mu\text{m}$ Länge (L) und $< 3 \mu\text{m}$ Dicke (D), deren Länge zu Dicke im Verhältnis $L : D \geq 3 : 1$ ist, gelten als sog. kritische Fasern resp. kritische Fasergeometrie / WHO-Fasern.

Das weitaus am häufigsten verwendete Chrysotil oder Serpentinasbest ist kurzfasriger, weicher und flexibler und damit weniger toxisch als das längerfaserige Krokydolith¹¹². Amphibolasbeste, wozu Krokydolith gehört, besitzen ein außerordentlich hohes kanzerogenes Potenzial. Sie bestehen aus nadelförmigen steifen Fasern und sind äußerst biopersistent.¹¹³

¹⁰⁹ vgl. TRGS 519 – Asbest, Pkt. 2.11 und 2.12

¹¹⁰ Weltweit wurden auch asbestzementhaltige Wasserleitungen verbaut: nach derzeitigem Erkenntnisstand der Forschungen zu Asbestfaseraufnahmen aus dem Trinkwasser besteht kein Zusammenhang zwischen Aufnahme und Tumorbildung des Verdauungstraktes [www.krebsinformationsdienst.de/themen/risiken/asbest.php; aufgerufen am 12.01.2009]

¹¹¹ Schadstoffberatung Tübingen, 10.05.2006 [www.schadstoffberatung.de/asbest.htm; aufgerufen am 06.11.2008]

¹¹² Otto, Matthias: Asbest, DISU Osnabrück [www.gesundheitsamt.de/alle/umwelt/chemie/fasern/asb/uebb.htm; aufgerufen am 12.01.2009]

¹¹³ Back, Eduard: Asbest als Werkstoff, Medienseminar Asbest, 3. November 2005 in Zürich, S. 3

Asbeste sind vom AGS (Ausschuss für Gefahrstoffe) seit 1988¹¹⁴ eindeutig als krebserzeugend¹¹⁵ eingestuft.

Die größte Gefahr geht von schwach gebundenen Asbestprodukten aus, denn schon allein bspw. durch Erschütterungen, Luftbewegungen, Temperaturänderungen und aufgrund der Alterung können Fasern emittieren.

5.2.1.5 Gesetzliche Einschränkungen zur Asbestproduktion

Die Verwendung von Spritzasbest wurde in der DDR 1969 und in der BRD 1979 verboten. Seit 1982 besteht das Verbot, schwach gebundene Asbestprodukte herzustellen. Seit 1993 ist die Herstellung und Verarbeitung für alle Asbestarten in Deutschland verboten (vgl. GefStoffV). Nur noch im Zuge von Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten und zu Forschungszwecken ist der Umgang mit asbesthaltigen Produkten unter Einhaltung spezifischer Schutzmaßnahmen möglich.

Seit 2005 gilt in der EU das Asbestverbot gemäß Richtlinie 1999/77 EG¹¹⁶.

5.2.1.6 Asbesthaltige Materialien und Produkte in Plattenbauten – Sorten und Fundorte

Asbesthaltige Materialien und Produkte sind bei Plattenbauten sowohl im Wohnungsinnen als auch im Außenwandbereich anzutreffen.

Dem Fugendichtstoff Morinol kommt eine besondere Bedeutung zu, denn dieser wurde sowohl im Innenbereich (z. B. zum Abdichten der Fugen zwischen Treppenlauf und Innenwand, zum Eindichten der Klingelkästen) als auch im Außenbereich zum Abdichten der Fugen der Außenwandplatten, der Loggiaplaten, von Fensterlaibungen sowie bei Hauseingängen eingesetzt.

Morinol wurde von der Fa. Gerhard Moran, Leipzig, Ende der 1950er Jahre entwickelt und hergestellt. Nach der Verstaatlichung in den 1970er Jahren setzte der VEB Bauchemie Leipzig, BT Böhlitz-Ehrenberg die Produktion fort.

Morinol wurde in unterschiedlichen Rezepturen auf der Basis von Polyvinylacetat oder Thioplast hergestellt. Für extrem hohe Anforderungen im Hoch- und Industriebau bei Fugenbreiten von 20 bis 40 mm kamen Morinol-Fugenkitte vom Typ GH bzw. GH / PE u. a. in Plattenbauten zum Einsatz mit folgenden Rezepturen:

¹¹⁴ vgl. krebserzeugende Stoffe in der Bauwirtschaft nach EU / TRGS 905, in: www.gisbau.de; aufgerufen am 27.11.2008; Bayerisches Landesamt für Umweltschutz 2004-PS1 / Umweltberatung Bayern, S. 6

¹¹⁵ gemäß GefStoffV Anhang I, Pkt. 1.4.2.1. werden krebserzeugende Stoffe in 3 Kategorien eingeteilt: „K1 Krebserzeugender Gefahrstoff – Stoffe, die auf den Menschen bekanntermaßen krebserzeugend wirken. Der Kausalzusammenhang zwischen der Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff und der Entstehung von Krebs ist ausreichend nachgewiesen.“

¹¹⁶ Richtlinie 1999/77 EG der Kommission vom 26. Juli 1999 zur sechsten Anpassung von Anhang I der Richtlinie 76/769/EWG des Rates vom 27. Juli 1976 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe (Asbest) (ABl.Nr.L207 vom 06.08.1999, S. 18)

Tab. 5.1: Rezepturen von Morinol-Fugenkitten Typen GH und GH / PE.¹¹⁷

Rezeptur / Typen	GH [%]	GH / PE [%]
PVAC-Dispersion (46/7)	42,5	
PVAC-Lösung (Ethylacetat LE 40/60)	25,5	41,1
Asbest SU-Mehl 7-450	14,8	38,0
Rohasbest M 6/5	6,0	
Octandiol	6,2	6,8
Hexylacetat	5,0	
Thioplast		10,8
Dibutylphtalat		3,0
Dichte [kg/dm³]	> 1.350	~ 1.600
Farbe	grau	dunkelgrau bis schwarz

Morinol-Fugenkitte sind durch die ausgezeichneten Hafteigenschaften auf Beton, Putz, Werk- und Kunststein, Keramik sowie Mauerwerk, Wasserundurchlässigkeit, Formbeständigkeit, Nichtbrennbarkeit und Widerstandsfähigkeit gegen UV-Licht gekennzeichnet.

Eingesetzt wurde Morinol ab 1963/64 zur Fugensanierung, als Montagekitt und v. a. für Abdichtungen von Fugen etwa 20 Jahre lang bis 1984¹¹⁸. Ab 1984 wurde Morinol nach alter Rezeptur substituiert. Als Füll- und Faserstoff wurden Koalin und Basaltfasern verwendet.

Anzunehmen ist, dass jedoch noch 1984/85 asbesthaltige Morinole verbaut wurden, weil sich die bauausführenden Firmen i. d. R. Vorräte anlegten.

Im Innen- und Außenbereich kamen leichte feuerhemmende asbesthaltige Platten zur Anwendung:

- Anorganische Brandschutzplatten nach TGL 22973 mit der Handelsbezeichnung „Baufatherm“ wurden mit einem Asbestanteil von 32 – 47 Gew.-%, ab 1981 mit 38 Gew.-% hergestellt (Hersteller war das Asbestzementwerk Porschendorf).
- Die Leichtbauplatten „Sokalit“ nach TGL 24452 wurden mit einem Asbestanteil von 7 – 14 Gew.-% bis 1981 hergestellt, von 1982 – 1987 mit 7 Gew.-% (Hersteller war der Kali- und Staubsatzbetrieb Staßfurt).
- Anorganische Feuerschutzplatten „Neptunit“ nach TGL 29312 und TGL 37478 wurden mit 20 – 40 Gew.-% Asbestgehalt bis 1982 produziert, von 1983 – 1987 mit 20 Gew.-% (Hersteller Neptunitwerk Wünschendorf).

¹¹⁷ Auszug aus Dahms, Karla: Morinol in Fugen der DDR-Fertigteilmontagen, Probleme bei der Fugeninstandsetzung, in: Asbestkongress 1994, Asbest und künstliche Mineralfasern, 21./22. Februar 1994 im Rahmen der UTECH Berlin, S. 58

¹¹⁸ ebenda, S. 59; Asbestkatalog Arbeitshygieneinspektion des Rates des Bezirkes Schwerin, 1981

Die Rohdichte dieser Produkte wird mit ca. 0,8 kg/dm³ angegeben. Das Plattenformat beträgt max. 1,25 m x 2,50 m.¹¹⁹

Unabhängig vom Asbestfaseranteil zählen sie zu den schwach gebundenen Asbestprodukten.¹²⁰

Folgende Fundorte sind von asbesthaltigen Leichtbauplatten, Asbestzementplatten und Asbestzementformstücken ermittelt worden:¹²¹

- Balkon-/Loggiabereich (Brüstungsverkleidungen, Auskleidung der Fluchtwegsluken, Verkleidung von Loggiaschaftelementen),
- Fassadenverkleidungen (Längsseiten und Giebel),
- im Luft-, Abgasschacht,
- in der Installationsschachtwand zwischen Küche und Bad.

5.2.1.7 Asbest-Analytik

Asbest kann entweder in der Luft und / oder im Material nachgewiesen werden.

▪ Asbestmessung in der Luft

Messungen in der Raumluft werden durchgeführt, um

- die Asbestart und den –gehalt sowie die Faseranzahl zu bestimmen,
- Kontrollmessungen durchzuführen ggf. für notwendige Sanierungsmaßnahmen oder zur Beurteilung von deren Erfolg.

Die Probennahme und Analyse ist in der VDI 3492¹²² standardisiert. Die Faserzählung und -identifizierung erfolgt mit dem REM/EDXA-Verfahren (Rasterelektronenmikroskop / energiedispersive Röntgenanalyse).

Die VDI 3492 ist für Innenraumluft- und Außenluftmessungen anwendbar.

▪ Asbestnachweis im Material

Die Bestimmung von Asbesten in technischen Produkten ist in der VDI-Richtlinie 3866¹²³ geregelt.

¹¹⁹ aus Fachtagung: Faserförmige Stäube, Fachtagung 1993

¹²⁰ vgl. Asbest-Richtlinie – Richtlinie für die Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukte in Gebäuden, Fassung vom Januar 1996, (MBI.NRW, 1997, S. 1067), Pkt. 1

¹²¹ vgl. Mettke, Angelika (Hrsg.): Rahmentechnologie, Rückbau-/ Demontageverhalten Plattenbauten – am Beispiel der Typenserie P2, 2004, S. 139 ff.

¹²² Richtlinie VDI 3492: Messungen von Innenraumluftverunreinigungen, Messungen von Immissionen, Messen anorganischer faserförmiger Partikel – Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren – Ausgabedatum Okt. 2004

¹²³ Richtlinie VDI 3866: Bestimmung von Asbest in technischen Produkten;

VDI 3866 - 1; Grundlagen; Entnahme und Aufbereitung der Proben, Berlin 2000

VDI 3866 - 2; Infrarotspektroskopisches Verfahren, Berlin 2001

VDI 3866 - 4; Phasenkontrastmikroskopisches Verfahren, Berlin 2002

VDI 3866 - 5; Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren, Berlin, 2004

5.2.2 Ausbau und Entsorgung von Asbest – Entsorgungsaufkommen, Anforderungen, Besonderheiten

5.2.2.1 Entsorgungsaufkommen an asbesthaltigen Abfällen

Asbesthaltige Abfälle fallen im Zuge von Abbruch-, oder Sanierung- und Instandsetzungsmaßnahmen (ASI-Arbeiten) an. Die Sanierungsbedürftigkeit und die –dringlichkeit von schwach gebundenen Asbestprodukten in Gebäuden wird durch die Asbest-Richtlinie¹²⁴ vorgegeben.

Das jährliche Entsorgungsaufkommen an Asbest wurde für Deutschland von 1950 bis 2040 unter Berücksichtigung des Verarbeitungspfad des Asbests und der mittleren Lebensdauer der Produkte prognostiziert und ist in Abb. 5.1 wiedergegeben.

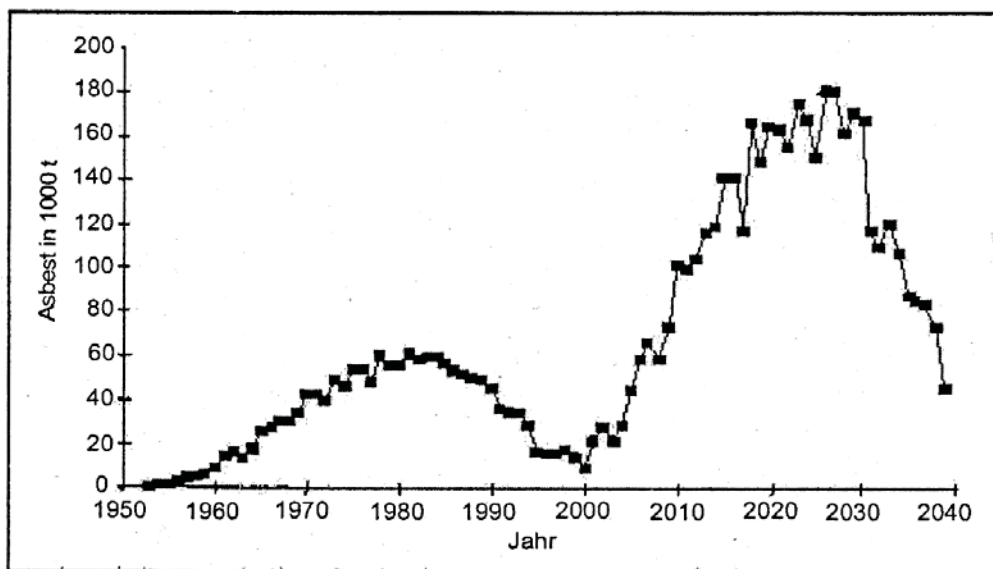


Abb. 5.1: Jährliches Entsorgungsaufkommen an Asbest in der Bundesrepublik Deutschland, extrapoliert unter Berücksichtigung des Verarbeitungspfad des Asbests und der mittleren Lebensdauer der Produkte¹²⁵

JOVANOVIC¹²⁶ weist darauf hin, dass mit einer Verfünffachung der hier angegebenen Asbestanfallmengen gerechnet werden muss. Dabei wird von einem gemittelten Verdünnungsfaktor über alle asbesthaltigen Produkte ausgegangen.

Damit wird deutlich, dass in den kommenden Jahren eine massenhafte Zunahme an zu entsorgenden asbesthaltigen Abfällen, überwiegend in Form von Asbestzement, zu realisieren ist. Das Entsorgungsaufkommen an Asbest wird sich im Vergleich zur derzeitigen Situation demnach bis zum Jahr 2030 etwa verdreifachen. Nach 2030 wird eine rückläufige Tendenz des Aufkommens erwartet und 2040 wird man voraussichtlich wieder auf dem Niveau der derzeit zu entsorgenden asbesthaltigen Abfälle sein.

¹²⁴ Asbest-Richtlinie – Richtlinie für die Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukte in Gebäuden, Fassung vom Januar 1996 (MBI.NRW. 1997, S. 1067)

¹²⁵ Jovanovic, Ivan: Stand der Behandlung und Entsorgung asbesthaltiger Reststoffe, 1994, S. 8

¹²⁶ ebenda

5.2.2.2 Anforderungen und Besonderheiten an den Ausbau, Umgang und die Entsorgung

Der Ausbau und die anschließende schadlose und ordnungsgemäße Entsorgung asbesthaltiger Baumaterialien ist von zugelassenen Fachfirmen nach § 39 Abs. 1 GefStoffV mit ausgebildeten Sachkundigen gemäß TRGS 519, Anlage 3, durchzuführen.

Für den Umgang mit schwach gebundenen Asbesten ist eine Zulassung der Firma durch die zuständige Arbeitsschutzbehörde notwendig.

Sämtliche gewerbliche Arbeiten an asbesthaltigen Arbeiten sind der zuständigen Behörde 14 Tage vor Arbeitsbeginn anzuzeigen.¹²⁷

Nachstehendes Ablaufschema (Abb. 5.2) zeigt die wesentlichen Schritte von der Schadstofferkundung bis hin zur Rückbaumaßnahme auf.

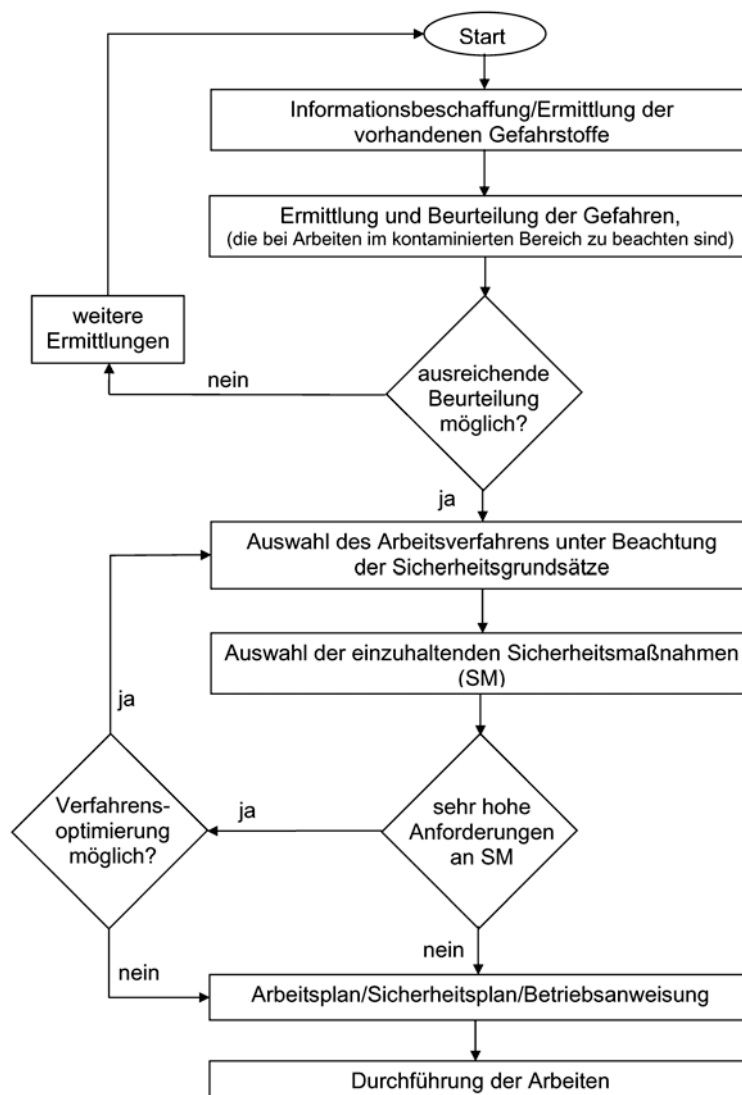


Abb. 5.2: Ablaufschema: Wesentliche Schritte von der Schadstofferkundung bis zur Rückbaumaßnahme¹²⁸

¹²⁷ vgl. Frisch, Klaus-Ruthard; Kötterheinrich, Rainer; Mettke, Angelika; Müller, Engelbrecht; Schrenk, Volker; Pitsch, Rudolf: Kleines Flächenrecycling, DWA-Merkblatt (in Bearbeitung, vorauss. Veröffentlichung II / 2009)

¹²⁸ TRGS 524, Ausgabe März 1998, S. 20

Seit dem 01.01.2002 sind alle Asbestabfälle als besonders überwachungsbedürftig bzw. seit dem 01.02.2007 als gefährlich¹²⁹ eingestuft. Gefährliche Abfälle sind immer im Vorfeld des Rückbaus oder des Abbruchs der Rohbaukonstruktion auszubauen und separat fachgerecht / ordnungsgemäß nach dem Stand der Technik zu entsorgen.

Die Festlegung des Abfallschlüssels nach Europäischem Abfallverzeichnis (AVV)¹³⁰ erfolgt durch den Abfallerzeuger. Je nach Deklarationsanalyse sind die asbesthaltigen Abfälle dem AVV-Abfallschlüssel 170601* „Dämmmaterial, das Asbest enthält“ (schwach gebundene Asbestabfälle) oder 170605* „Asbesthaltige Baustoffe“ (fest gebundene Asbestabfälle) zuzuordnen.

Die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen ist im Jahr 2007 grundlegend neu konzipiert worden.¹³¹ Das Prinzip der Nachweisführung besteht in einer Vorabkontrolle der beabsichtigten Entsorgung und einer anschließenden Verbleibskontrolle.

Wird ein Entsorgungsfachbetrieb mit der Entsorgung beauftragt, ist eine vereinfachte Entsorgung über einen Entsorgungsnachweis ohne Behördenbestätigung möglich.

In einer Reihe von Bundesländern besteht eine Überlassungs- / Andienungspflicht bei der Entsorgung gefährlicher Abfälle¹³² (vgl. Tab. 5.6). Das bedeutet, dass eine Gesellschaft die Lenkung der Stoffströme zur Entsorgungsanlage übernimmt. Beispielsweise besteht im Land Brandenburg die Andienungspflicht bei der Sonderabfallgesellschaft Brandenburg / Berlin mbH (SBB).

5.2.2.3 Immobilisierende Behandlung asbesthaltiger Abfälle

Das Ziel der Behandlungen von asbesthaltigen Abfällen besteht darin, Gefährdungen auf dem gesamten Entsorgungsweg auszuschließen.

Die Behandlungsverfahren unterscheiden sich nach

- Verfahren zur Faserzerstörung und
- Maßnahmen und Verfahren zur Vermeidung der Faserfreisetzung bis zur endgültigen Ablagerung.

Asbestzementzeugnisse, die dem AVV 170605* zugeordnet sind, sind mit entspanntem Wasser zu befeuchten oder mit Faserbindemittel zu besprühen. Stapelbare Platten sind mit Lagenhölzern zu palettieren, in Folie einzuschlagen oder in Big-Bags bzw. Platten-Big-Bags zu verpacken. Der Transport / die Beförderung hat mindestens in bedeckten Fahrzeugen oder Containern zum Entsorgungsort zu erfolgen.

¹²⁹ Mit der Änderung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes vom 15.07.2006 (BGBl.I, S. 1619) wurden die Begriffsbestimmungen im deutschen Abfallrecht an das EU-Recht angepasst.

Seit dem 01.02.2007 werden Abfälle in gefährliche und nicht gefährliche Abfälle unterteilt. Die frühere Einteilung in Abfälle zur Beseitigung (besonders überwachungsbedürftige und überwachungsbedürftige Abfälle (büAbf und üAbf)) sowie in Abfälle zur Verwertung in büAbf, üAbf und nicht üAbf entfällt.

¹³⁰ Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung – AVV) vom 10.12.2001

¹³¹ Gesetz zur Vereinfachung der abfallgerechten Überwachung vom 15.07.2006 (BGBl.I, Nr. 34, S. 1619; Verordnung zur Vereinfachung der abfallrechtlichen Überwachung vom 20.10.2006 (BGBl.I, Nr. 48, S. 2298)

¹³² Die AGS-Arbeitsgemeinschaft der Sonderabfall-Entsorgungs-Gesellschaften der Länder gibt einen Überblick zu landesrechtlichen Überlassungs- oder Andienungspflichten (Übersicht s. Tab. 5.6).

Schwach gebundene asbesthaltige Abfälle (AVV 170601*) sind zu verfestigen bzw. die Oberfläche ist zu behandeln. Geeignet sind dafür anorganische Bindemittel wie z. B. Zement und Wasserglasmodifikationen sowie organische Bindemittel wie z. B. Kunststoffdispersionen und Polyöle.¹³³

Verfestigte bzw. oberflächenbehandelte asbesthaltige Abfälle sind zu beseitigen resp. dürfen nicht weiter verwendet werden (Asbestverwendungsverbot). Daher ist es bspw. auch unzulässig, die zur Faserfreisetzung behandelten asbesthaltigen Abfälle als Verfüllmaterial für Rekultivierungsmaßnahmen von Tagebaurestlöchern oder anderen Abgrabungen zu verwenden.

Gemäß LAGA-Merkblatt¹³⁴ sollte den Verfahren zur Faserzerstörung der Vorzug eingeräumt werden – vorausgesetzt sie sind praxiserprobt und wirtschaftlich zumutbar. Dadurch sollen das Gefährdungspotenzial der Asbestfasern beseitigt und eine Verwertung des behandelten faserfreien Produktes ermöglicht werden.

Angesichts der zu erwartenden Anfallmengen an asbesthaltigen Abfällen (s. Kap. 5.2.2.1) ist es relevant, dass faserzerstörende Verfahren greifen, um das Abfallvolumen zu vermindern.

• Verfahren zur Faserzerstörung

In den letzten Jahren wurden verschiedene Verfahren und Verfahrensansätze zu mechanischen, chemischen und thermischen Faserzerstörungen entwickelt und erprobt, die darauf abzielen, die gesundheitsgefährlichen Asbestfasern irreversibel zu verändern, so dass potenzielle Sekundärrohstoffe entstehen, die wieder einer wirtschaftlichen Nutzung zugeführt werden können. Ferner wird eine Reduzierung des Bedarfs an Deponievolumen erreicht.

Es wurden Verfahren der Verglasung, der Zerstörung der Asbestfasern durch Säuren, der thermischen Umwandlung durch Umkristallisation sowie spezielle Mahlverfahren verfolgt, die zur Strukturzerstörung aller Asbestvarietäten führen (s. Abb. 5.3).

Die in [28], dem damaligen aktuellen Entwicklungsstand entsprechend beschriebenen Behandlungsverfahren sind zum Teil weiterentwickelt bzw. modifiziert worden. Dennoch hat sich bislang eine großtechnische Anwendung zur Zerstörung von Asbestfasern - überwiegend aus wirtschaftlichen Gründen - nicht am Markt etablieren können, um die Deponierung von Asbestabfällen überflüssig zu machen oder wenigstens einzuschränken. Die Behandlungskosten können nicht mit den geringen Deponiegebühren konkurrieren.

Angesichts der prognostizierten massenhaft anfallenden Asbestabfälle sollten alternative Lösungen zur Verwertung im Vergleich zur üblichen Deponierung (Beseitigung) erneut auf den Prüfstand gestellt werden. Nachfolgend werden ausgewählte Verfahren zur Faserzerstörung umrissen:

¹³³ vgl. LAGA-Merkblatt „Entsorgung asbesthaltiger Abfälle vom 6. September 1995 in der Fassung vom 20. Februar 2001, Pkt. 6.2 und 6.3 sowie Anhang 1.1 und 1.3; Jordan-Gerkens, Anke: Entsorgung von Asbestabfällen durch mechanische Faserzerstörung, 2005, S. 17

¹³⁴ LAGA-Merkblatt „Entsorgung asbesthaltiger Abfälle vom 6. September 1995 in der Fassung vom 20. Februar 2001, Pkt. 6.1

• Mechanische Beanspruchung von Asbestfasern

Grundlegende Untersuchungen zur mechanischen Umwandlung von Asbestfasern erfolgten in den 1990er Jahren an der TU Clausthal, Institut für Aufbereitung von Rohstoffen und Reststoffen unter Leitung von Prof. GOCK¹³⁵. Aufbauend auf diesen Ergebnissen befasste sich JORDAN-GERKENS¹³⁶ (betreut von Gock) weitergehend mit der mechanischen Faserzerstörung in der Exzenter-Schwingmühle. Darüber hinaus ist von ihr die Kombination von mechanischer Beanspruchung und thermischer Behandlung von Asbestabfällen technisch erprobt und wirtschaftlich bewertet worden. Das Ziel der Untersuchung bestand darin, ein energetisch weniger aufwendiges Verfahren zu entwickeln, das eine vollständige Asbestfaserzerstörung bewirkt, volumenreduzierend und für Verwertungen geeignet ist. Aufgrund des hohen Einsatzes von Chrysotil, überwiegend in Asbestzementplatten, und Krokydolith, v. a. in Isoliermaterialien (z. B. Asbestwolle), – diese beiden Mineralien wurden zu ca. 99 % des in der BRD verwendeten Asbests eingesetzt – konzentrierten sich die Untersuchungen von JORDAN-GERKENS folgerichtig auf diese Asbestvarietäten.

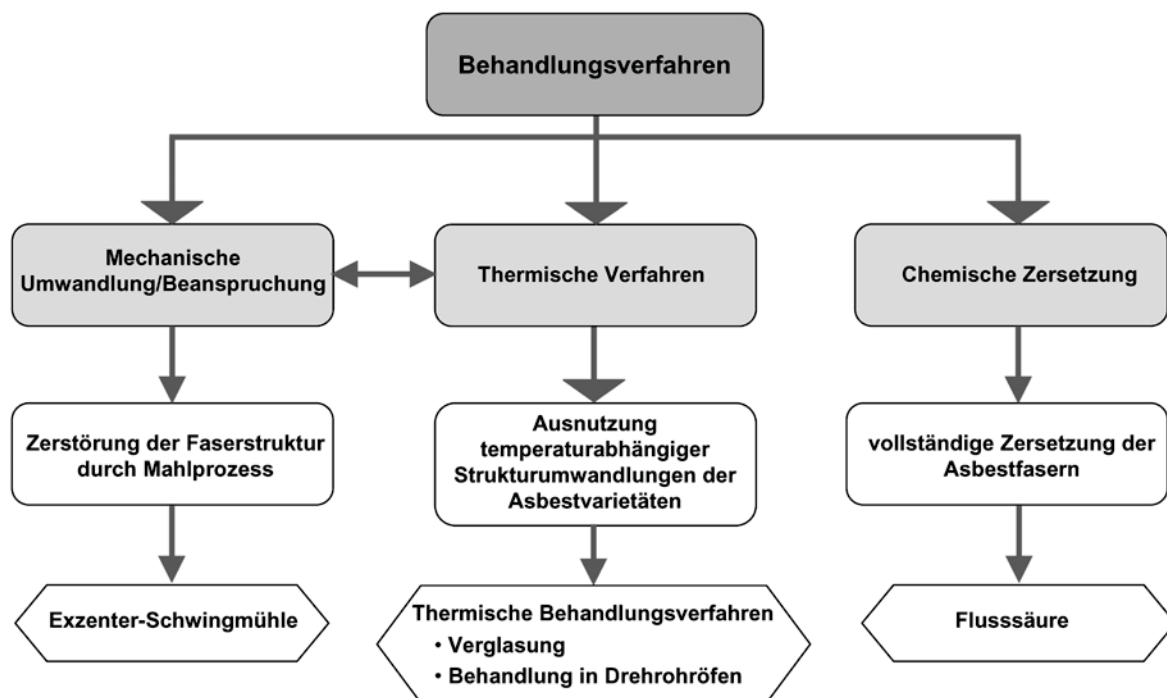


Abb. 5.3: Übersicht zu Behandlungsverfahren zur Asbestfaserzerstörung

Für die Errichtung und den Betrieb solcher Behandlungsanlagen gelten die Anforderungen nach Bundes-Immissionsschutzgesetz.

Das Verfahrensprinzip der mechanischen Beanspruchung basiert auf den für die Zerkleinerung von Rohstoffen üblichen Gesetzmäßigkeiten. Der technologische Fluss inkl. der Kontrollmaßnahmen stellt sich wie folgt dar:

¹³⁵ Prof. Dr.-Ing. habil. Eberhard Gock; referierte darüber u. a. auf der UTECH 1995

¹³⁶ Jordan-Gerkens, Anke: Entsorgung von Asbestabfällen durch mechanische Faserzerstörung, 2005, S. 121

- Vorzerkleinerung des Materials auf Korngrößen $< 10 \text{ mm}$.
- Von einem Bunkersystem aus erfolgt die Aufgabe des asbesthaltigen Materials über Dosiervorrichtungen auf ein Exzenter-Schwingmühlensystem mit folgendem Ergebnis: vollständige Zerstörung der Faserstruktur; nadelförmige, faserige Kristallformen werden umgewandelt in eine amorphe, blättchenförmige Struktur (kornförmiges Endprodukt mit Partikeln $< 1 \mu\text{m}$).
- Voraussetzung für alle Transport- und Zerkleinerungseinrichtungen ist die staubfreie Kapselung bzw. der staubfreie Verschluss in Fässern oder Kunststoffverpackungen (Big-Bags) bzw. im Schwarzbereich.
- Die Kontrolle auf Faserfreiheit erfolgt regelmäßig am Austrag des Exzenter-Schwingmühlensystems. Bis die Analyseergebnisse vorliegen wird das Mahlgut im Zwischenbunker gelagert.
- Ausschleusungen des Fertiggutes (vgl. Abb. 5.4)

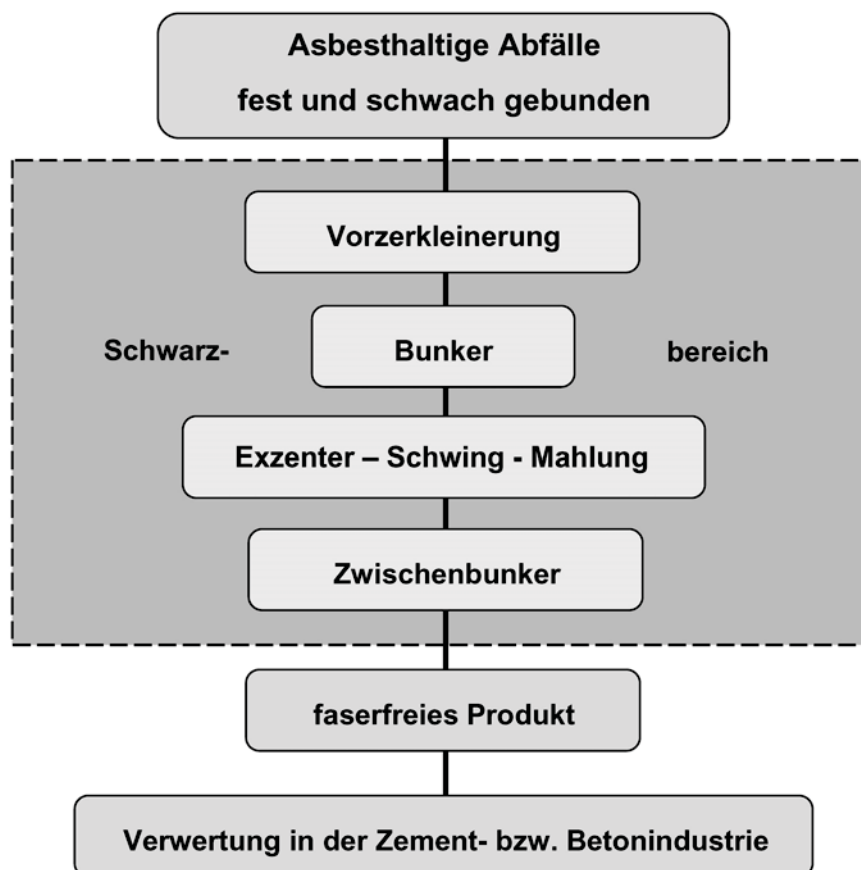


Abb. 5.4: Technologisches Fließbild zur mechanischen Beanspruchung asbesthaltiger Abfälle¹³⁷

Nachstehende Tab. 5.2 gibt einen Überblick zu den erforschten, patentierten, mechanischen Behandlungsverfahren, der erzielbaren faserfreien Produkte und deren Verwertungsmöglichkeiten.

¹³⁷ vgl. Jordan-Gerkens, Anke: Entsorgung von Asbestabfällen durch mechanische Faserzerstörung, 2005, S. 121

Tab. 5.2: Übersicht über mechanische Behandlungsverfahren und der erhaltenen faserfreien Produkte
[erweitert nach JORDAN-GERKENS¹³⁸]

Entwickler	Materialien	Methode	Produkte	Entsorgungspfad	Patent
Lemmerbrock, Godesberg	Asbest, asbesthaltige Stoffe	nasse Feinstmahlung mit Alkalihydroxid + anschließende Autoklavenbehandlung	Suspension feinkristalliner und gelförmiger Stoffe	k. A.	
Nikka-Norddeutsche Isolierwerke GmbH & Co KG	natürliche bzw. synthetische faserstoffhaltige Materialien	Kaltversprödung + Schwingmahlung / Fliehkraftreaktor (Nassmahlung)	faserfreie Stoffsuspension bzw. Pulver	Formsteine bzw. Rohstoff	DE 4332031
Nikka-Norddeutsche Isolierwerke GmbH & Co KG	natürliche bzw. synthetische faserstoffhaltige Materialien	Feinstmahlung in Exzenter-Schwingmühle	faserfreies Pulver	Baustoff	DE 4409445
WITEGA Angewandte Werkstoff-Forschung GmbH	Asbest, asbesthaltige Materialien	Elektromechanische Beanspruchung	feindisperses Gut	Sekundärrohstoff z. B. für Klinkerherstellung, als Zementzumahlstoff	DE 19532634

Auch JORDAN-GERKENS¹³⁹ weist nach, dass die nach der mechanischen Beanspruchung unter definierter Beanspruchungsdauer / Verweilzeit erzeugten Produkte feinstgemahlene, faserfreie Produkte ergeben, die in der Zement- und Betonindustrie einsetzbar sind. Die aufbereiteten zementgebundenen Asbestprodukte weisen einen Blainewert von 5.500 cm²/g auf, Asbestwollen 4.200 cm²/g.

Je nach Input, Asbestzement oder Asbestwolle oder eine Mischung daraus, variiert die chemische Zusammensetzung des erzeugten faserfreien Produkts mit einem Anteil von Calciumcarbonat von ca. 33 %, einen Magnesium-Silikatanteil von ca. 5 bis 10 % und einem Natrium-Eisen-Silikatanteil von 0 bis 45 %. Ausgenommen vom hohen Calciumcarbonat- und Alkalianteil entspricht damit die chemische Zusammensetzung des aufbereiteten Asbestzements der üblichen Zusammensetzung von Mörteln unter Verwendung handelsüblicher Portlandzemente.

• Kombination von mechanischer Beanspruchung und thermischer Behandlung

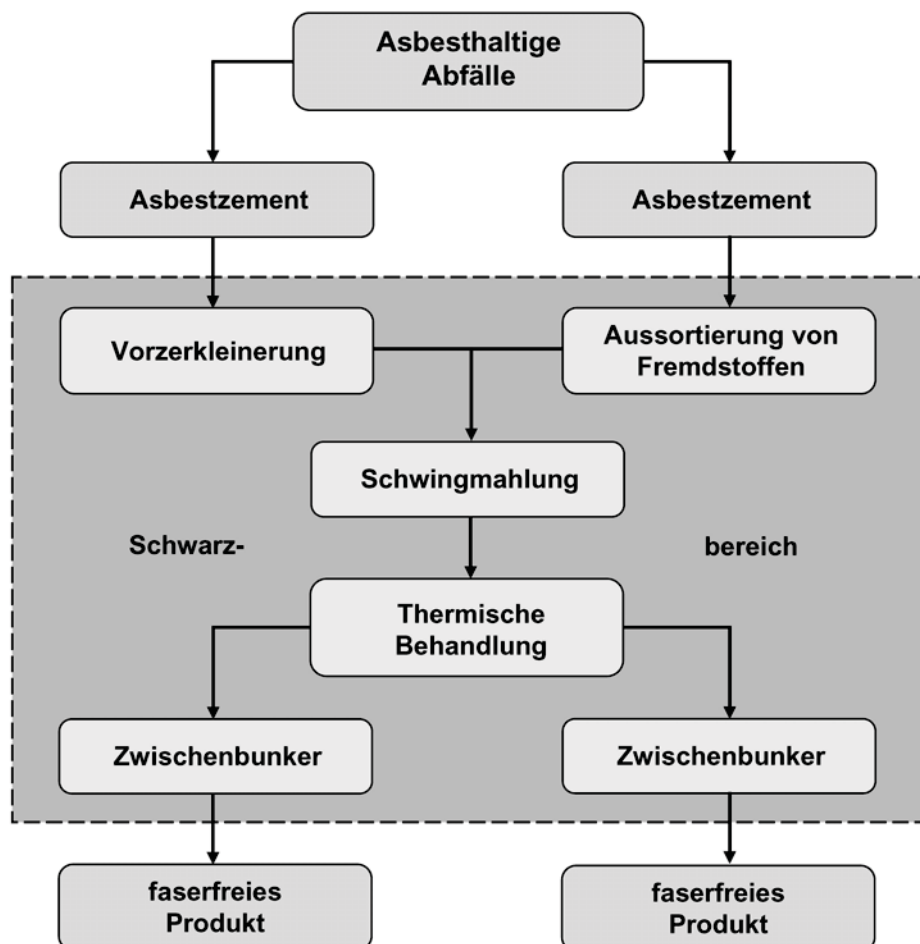
Bei der mechanisch-thermischen Behandlung – der Faserzerstörung durch Schwingmahlung und thermischer Nachbehandlung – werden die aktivierten Materialien aus der mechanischen Vorbehandlung thermisch im Drehrohrofen innerhalb ihrer Umwandlungstemperaturen (vgl. Tab. 5.3) nachbehandelt (s. Abb. 5.5, 5.6).

¹³⁸ Jordan-Gerkens, Anke: Entsorgung von Asbestabfällen durch mechanische Faserzerstörung, 2005, S. 29

¹³⁹ ebenda, S. 126 ff.

Tab. 5.3: Spezifische Kenndaten und Umwandlungsbereiche der Asbeste¹⁴⁰

Gruppe	Serpentin-Asbest	Amphibol-Asbest
Mineral	Chrysotil (Weißasbest)	Krokydolith (Blauasbest)
Formel	$\text{Mg}_3[(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5]$	$\text{Na}_2\text{Fe}^{2+}_3\text{Fe}^{3+}_2[\text{OH}/\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$
Umwandlungstemperatur in °C	400 bis 700	400 bis 600
Schmelztemperatur in °C	1.550	1.200
Morphologie der Fasern	faserig gewunden	faserig, stängelig, verfilzt
Säurebeständigkeit	gering	gut
Laugenbeständigkeit	sehr gut	gut

**Abb. 5.5:** Technologisches Fließbild zur mechanisch-technischen Behandlung asbesthaltiger Abfälle¹⁴¹¹⁴⁰ Jovanovic, Ivan: Stand der Behandlung und Entsorgung asbesthaltiger Reststoffe 1994, Auszug aus Tab. 9, S. 16¹⁴¹ Jordan-Gerkens, Anke: Entsorgung von Asbestabfällen durch mechanische Faserzerstörung, 2005, S. 124

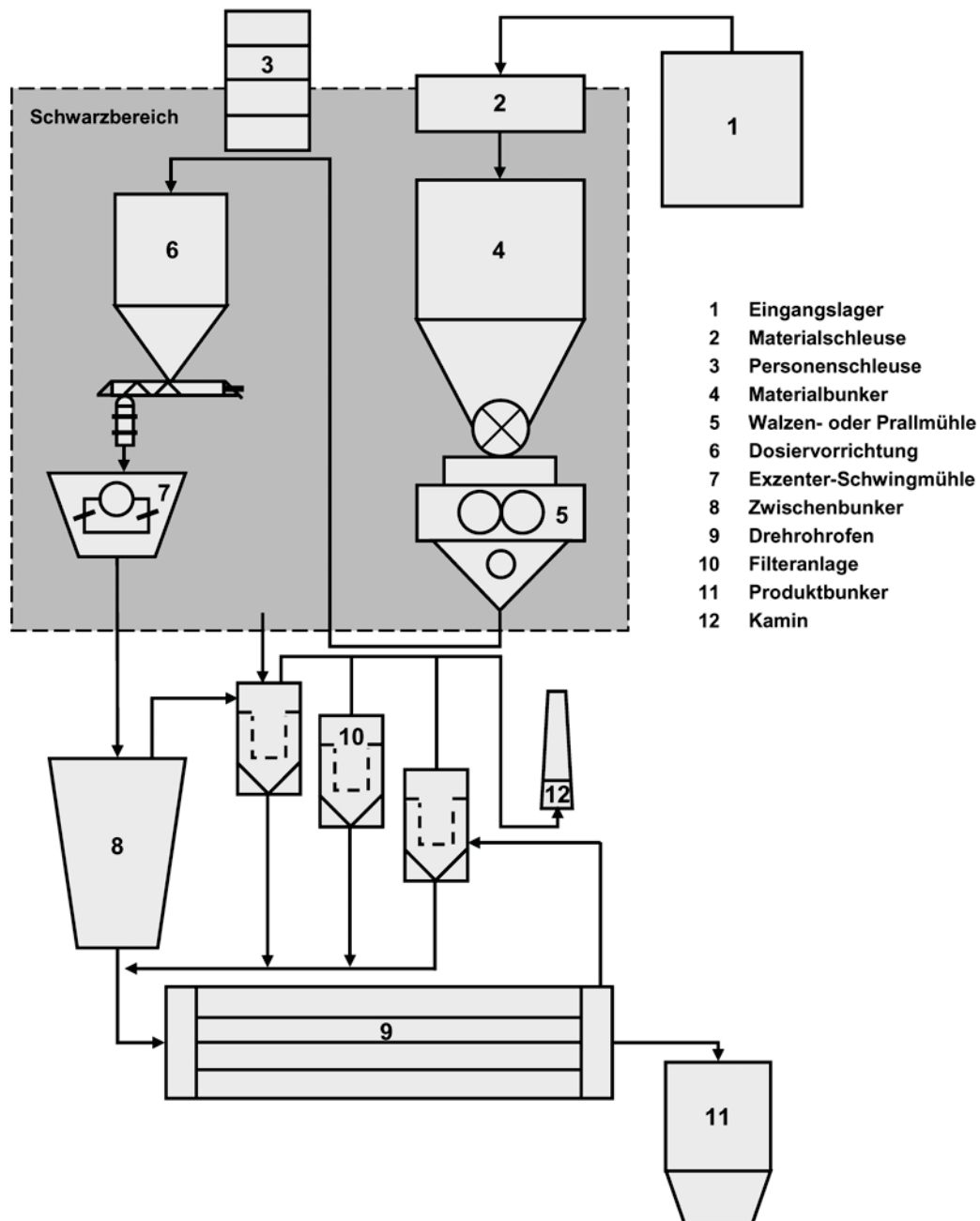


Abb. 5.6: Fließschema Versuchsanlage zur mechanisch-thermischen Behandlung asbesthaltiger Abfälle¹⁴²

Die Untersuchungen ergaben, dass für die thermische Umwandlung vom Chrysotil in asbestzementhaltigen Produkten 660 °C und von Krokydolith in schwach gebundenen Asbestprodukten 860 °C erforderlich sind.

Die chemische Zusammensetzung variiert auch hier in Abhängigkeit des Input. Ermittelt wurde, dass sich die verfahrenskombinierten behandelten Produkte als Rohstoffkomponente zum Klinkerbrennprozess eignen. Details sind der angegebenen Literatur entnehmbar.¹⁴³

¹⁴² Jordan-Gerkens, Anke: Entsorgung von Asbestabfällen durch mechanische Faserzerstörung, 2005, S. 125

¹⁴³ ebenda, S. 126 ff.

• Thermische Behandlungsverfahren

Die thermische Umsetzung hat zu zwei unterschiedlichen Verfahrensentwicklungen geführt:

- zur Verglasung,
- zur thermischen Behandlung in Drehrohröfen.

Bei dem Verfahren zur thermischen Behandlung wird die Asbestfaserstruktur im Drehrohröfen bei Temperaturen zwischen 600 °C und etwa 1.200 °C bei Verweildauern von 1 bis 2 Stunden zerstört. Die Umwandlung erfolgt in Silikate und Oxide.

Die Firma AsbestEx hatte 1993 in Neustadt-Glewe (Mecklenburg-Vorpommern) eine Pilotanlage in Betrieb genommen und nach einem patentierten Verfahren von JOHANNES DIETER (EP 4035358.3-45) faserfreie Produkte bei einem Energieverbrauch von 250 – 350 kWh/t Asbestabfall erzeugt, die in der Bau- und Keramikindustrie verwertbar sind. Trotzdem sich die Teile der Anlage im Einzelnen großtechnisch bewährten und mit diesem Verfahren die Anforderungen erfüllt wurden, asbesthaltige Abfälle in nicht gefährliche, umweltverträgliche Produkte zur Verwertung umzuwandeln, kam es zur Schließung des Unternehmens in 2003.

Das Institut für Baustoff- und Umweltschutz-Technologie GmbH Weimar und der TÜV Thüringen Anlagentechnik GmbH Rudisleben haben ein Verfahrenskonzept zur gefahrlosen Verwertung von Asbestzementprodukten entwickelt durch die Rückführung dieser in den Zementherstellungsprozess. Das Verfahren beruht darauf, dass vorzerkleinerter, feingemahlener Asbest in den Flammenbereich des Drehofenbrenners direkt eingeblasen wird. Drehofenbrenner mit mittleren Flammentemperaturen von ca. 1.800 °C bieten gute Voraussetzungen für eine Hochtemperaturbehandlung. Bei Temperaturen > 1.600 °C wird eine vollständige Umsetzung von Asbestzement unter Aufschmelzen erwartet (Verglasung). Wie oben ausgeführt, lassen sich bereits unterhalb 1.000 °C alle Asbestminerale strukturell irreversibel umwandeln. Unter halbtechnischen Bedingungen wurde auf dem Versuchsgelände des Instituts für Baustoff- und Umweltschutz GmbH nachgewiesen, dass die Asbestfasern strukturell vollständig umgewandelt und die entstandenen wasserfreien Magnesiumsilikate mit der Zementmatrix unter Schmelze-Bildung reagieren (Verglasung, Kugelbildung). Alle in das Ofensystem eingebrachten Asbestpartikel müssen die heiße Flammenzone passieren und erfahren damit eine strukturelle Umwandlung. Im Gegensatz zu anderen Verfahrensvorschlägen, wie z. B. das Einbringen von Asbestzement über das Zementrohmehl, wird der Gefahr begegnet, dass im kälteren Anlagenbereich inaktive Asbestfasern als Staubpartikel im Abgasstrom weggeführt und in Filter abgeschieden werden bzw. filtergängig emittieren.

Bei dem genannten Verfahren wird gesichert, dass die aus dem Flammenbereich austretenden asbestzementhaltigen Umwandlungsprodukte asbestfrei sind. Unter wissenschaftlicher Begleitung von Prof. STRÜBEL, Universität Gießen wurde ein Qualitätssicherungssystem aufgebaut, bei dem nachgewiesen wird, dass der Asbestgehalt im behandelten Material (Austragsgut) gemäß GefStoffV < 0,1 Masseprozent beträgt. Details zur Asbestanalytik sind der Publikation von JUSTEN und STRÜBEL¹⁴⁴

¹⁴⁴ Justen, Hans-Peter; Strübel, Günter: Verwertungskonzepte für thermische Reaktionsprodukte asbesthaltiger Massen, Oberhessische Naturwissenschaftliche Zeitschrift, Band 60, 2000, S. 6 [www.ohg-natur.de/Band60/Justen.html; aufgerufen am 04.12.2008]

entnehmbar. Mit dem Abgas ausgetragene Feinstpartikel werden gemeinsam mit dem Staub abgeschieden und als Rückführstaub der Brenneranlage zugeführt.

Der Stand der Erkenntnisse bildet die verfahrens- und sicherheitstechnischen Grundlagen für die Erprobung unter Produktionsbedingungen in einem Zementwerk.

Dabei gelten folgende sicherheitstechnische Anforderungen für jedes thermische Asbestentsorgungs-verfahren:

- Lagerung, Zerkleinerung und Mahlung von asbesthaltigen Abfällen im Schwarzbereich,
- Installation des Dosier- und Fördersystems für Asbestzementmehl in den Brennerkanal unter Schwarzbereichsbedingungen,
- steuerungstechnische Verriegelung von Brennerbetrieb und Asbestzementmehlzuführung,
- Nachweis der Asbestfaserfreiheit
 - im Abgasstrom vor und nach dem Filter und
 - im Austragsgut (Zementklinker).

Eine Umsetzung im Zementwerk ist noch nicht erfolgt. Ein Grund könnte der erhöhte sicherheitstechnische resp. investive Aufwand sein. Zum anderen müsste eine kontinuierliche Anlieferung asbestzementhaltiger Asbestabfälle sichergestellt werden.

Von der IBU-tec GmbH Weimar & Co. KG Weimar wurde ein weiteres Verfahren entwickelt, das die Einspeisung einer Asbestzement-Altöl-Mischung in die Sinterzonenflamme eines Zementrohrofens vorsieht.¹⁴⁵ Das vorzerkleinerte Asbestzementmaterial wird in einer Kugelmühle mit Altöl vermischt bevor es in den Drehrohröfen eingebracht wird. Die vollständige Umwandlung der Asbestfasermorphologie erfolgt bei ca. 1.800 °C und die modifizierten Reststoffe werden zu Bestandteilen des Zementklinkers.

Die industrielle Umsetzbarkeit des Verfahrens wurde – bezogen auf das Zementwerk in Rüdersdorf – untersucht, technologisch erläutert, wirtschaftlich und sicherheitstechnisch bewertet. Eine großtechnische Anwendung hat das Verfahren jedoch noch nicht gefunden.

Nicht unerwähnt bleiben soll, dass die thermisch betriebene Behandlungsanlage für Asbestzement von der Mineralfaser-Verwertungs-Gesellschaft (MVG) in Hockenheim, seit 2001 nach immissions-schutzrechtlichen Vorgaben genehmigte Anlage, im Dezember 2006 still gelegt wurde, nachdem im thermisch behandelten Material unzerstörte Asbestfasern festgestellt wurden. Im Frühjahr 2005 wurde bereits festgestellt, dass die Firma weitaus mehr asbesthaltige Materialien lagerte (insgesamt ca. 24.500 t) als genehmigt waren (2.000 t; je 1.000 t im Eingangs- bzw. Ausgangslager). Am 20.11.2008 konnte der Startschuss für die ordnungsgemäße Entsorgung der widerrechtlich abgelagerten Asbestmaterialien auf dem Betriebsgelände der ehemaligen Asbestbehandlungsanlage gegeben werden. Ende März 2009 soll das Grundstück von der gefährlichen Hinterlassenschaft beräumt sein.¹⁴⁶

¹⁴⁵ Schlegl, Rainer: Abschlussbericht „Erarbeitung eines Verfahrens zur stofflichen Verwertung von zementgebundenen Asbestprodukten in Drehrohröfen für die Zementindustrie“, Weimar, Institut für Baustoff- und Umweltschutz-Technologie GmbH (IBU-tec), 1999

¹⁴⁶ Asbest Hockenheim, Umweltministerium Baden-Württemberg, Presseservice [www.um.baden-wuerttemberg.de; aufgerufen am 20.01.2009]

- **Labortechnische Voruntersuchungen zum Einsatz der Mikrowellentechnik – Inertisierung zementgebundener asbesthaltiger Abfälle**

Hierzu sind von der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Berlin und der Technischen Fachhochschule Wildau orientierende Laboruntersuchungen durchgeführt worden mit dem Ergebnis, dass die Mikrowellentechnik bei der Inertisierung von Asbest und asbesthaltigen Abfällen durch Umwandlung der faserigen Asbestmodifikationen eingesetzt werden kann. In relativ kurzer Zeit (10 min) ist es möglich, asbesthaltige Gemische auf Temperaturen zu erwärmen, bei denen eine Dehydroxylierung und eine Mineralphasenumwandlung erfolgt. Dazu wurde das Asbestzementprobenmaterial auf eine Korngröße von 2 – 4 mm zerkleinert.

Als Zusatzstoffe wurden bis max. 50 %

Magnetit	(Fe_3O_4),
Eisen(III)chlorid	(FeCl_3),
Kalilauge	(KOH) und
Borax	($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10 \text{ H}_2\text{O}$)

zugegeben.

Hierdurch wurde das Absorptionsverhalten (Aufsaugen) der Stoffmischung verbessert. Als besonders wirkungsvoll haben sich Mischungen aus Asbestzement und Magnetit bzw. Eisen(III)chlorid erwiesen. Hierzu konnte in max. 10 min. eine Temperatur > 750 °C erreicht werden.

Der Vorteil des Verfahrens wird darin gesehen, dass es in relativ kurzer Zeit durch den direkten und somit effektiven Energieeintrag der Inertisierungs- bzw. Phasenumwandlungsprozess der Asbeste realisiert werden kann, der für Mensch und Umwelt gefahrlos und außerdem in der Industrie als Sekundärrohstoff einsetzbar ist. Ein weiterer Vorteil besteht im Auftreten minimaler Abgasmengen. Als gasförmiges Produkt wird insbesondere Wasserdampf aus den silikatischen Verbindungen freigesetzt. Dies hat zur Folge, dass die zur Abgasreinigung erforderliche Technik (Asbestfilter) klein dimensioniert werden kann. Der Einsatz der Mikrowellentechnik bietet den Vorteil, eine kleinere, kompakte Anlage mit hohem Durchsatz evtl. transportabel zu gestalten, so dass eine Anlage im Schwarzbereich des Anfallortes (d. h. Sanierungsbaustelle) installiert werden kann.

- **Verglasung**

Beim Verglasungsverfahren, entwickelt von SPE Consulting und Projektsteuerung GmbH, Frankfurt am Main und der Jenaer Schmelztechnik Jodeit (JSJ) GmbH, erfolgt die Umwandlung von asbesthaltigen Materialien in ein sicheres, inertes Glas.

Asbesthaltige Materialien werden mit etwa 25 Gew.-% Altglasscherben gemischt und geshreddert auf < 30 mm Durchmesser. Nach einer kurzen Verbrennung, um Holz, Papier und Plastik auszutragen, wird das Gemisch im Ofen bei > 1.400 °C geschmolzen. Das flüssige, asbestfreie Glas wird im Wasserbad abgeschreckt. Es entsteht ein Glasgranulat.

Die Anlage ist für einen Durchsatz von 5 t/d Asbestabfall konzipiert worden. Der Energiebedarf beläuft sich auf ca. 1 MWh/t. Das Verglasungsgranulat ist ein amorphes Silikatglas, das dunkelgrün bis schwarz ist. Es hat einen niedrigen Alkaligehalt und dies macht es widerstandsfähig gegen Auslaugen und korrosive Angriffe.

Das Glasgranulat kann in Bau- und Industriebereichen wie bspw. als Deckschicht im Deponiebau, im Straßenbau oder aufgrund der Härte als Schleifmittel eingesetzt werden. Zudem ist es angesichts der wasserabsorbierenden Eigenschaft für Filterbettsysteme geeignet.

Das Vitrifix-Verfahren ist im Prinzip adäquat dem Verfahrensablauf der SPE/JSJ. Der elektrische Energiebedarf wird mit 1 kWh/kg Asbestabfall angegeben. 1992 wurde es am Frankfurter Flughafen eingesetzt.¹⁴⁷

• Chemische Zersetzung

Chrysotil und Krokydolith sind weitestgehend chemisch resistent außer gegenüber Flusssäure¹⁴⁸. Bei der chemischen Reaktion von Silizium mit Fluorwasserstoff werden die Asbestvarietäten nach einer der Säurebeständigkeit entsprechenden Verweilzeit vollkommen aufgelöst.

Beim Solvas-Verfahren¹⁴⁹ wird das asbesthaltige Material mit einem 5 bis 10 %igen Überschuss an Flusssäure zersetzt, um die Reaktion vollständig ablaufen zu lassen. Der Säureüberschuss wird anschließend mit Kalkmilch neutralisiert. Dabei steigt die Temperatur auf 100 °C unter intensiver HF-Dampfbildung. Die anfallenden Reaktionsprodukte bestehen hauptsächlich aus Fluoriden und Hexafluorosilikaten.

Die Anlage ist für einen Durchsatz von 2t/d Asbestabfall ausgelegt worden mit einem energetischen Bedarf von 200 kWh/t. Der Reagenzienbedarf beläuft sich auf ca. 900 kg Flusssäure und 450 kg Kalk für 1 Tonne Asbestabfall.

Das sehr feinkörnige Endprodukt soll als Ersatzstoff für Feinsandanteile in Zementbausteinen oder als Flussmittel eingesetzt werden.¹⁵⁰

Der Nachteil des Verfahrens besteht v. a. darin, dass mit großen Mengen Flusssäure gearbeitet wird, die eine Vielzahl von sicherheitstechnischen Fragen aufwirft. Zudem muss durch die Fällungsreaktion mit einer Volumenzunahme gerechnet werden.

Weitere patentierte chemische Behandlungsverfahren unterscheiden sich vornehmlich durch die Verwendung der Säureart oder durch den Einsatz von mehreren Mineralsäuren. JORDAN-GERKENS¹⁵¹ vergleicht chemische Behandlungsverfahren hinsichtlich der Verfahrensbedingungen und der Reagenzien, die zur chemischen Zersetzung der Faser führen, definiert die Produkte und den sekundären Einsatz (Entsorgungspfad).

¹⁴⁷ Jovanovic, Ivan: Stand der Behandlung und Entsorgung asbesthaltiger Reststoffe 1994, S. 17

¹⁴⁸ Die wässrige Lösung von Fluorwasserstoff (H-F) wird als Flusssäure bezeichnet (farblose, stechend riechende Flüssigkeit; sehr giftig beim Einatmen, Verschlucken und Berührung mit der Haut; verursacht schwere, schlecht heilende Verätzungen).

¹⁴⁹ Die Solvay Umweltchemie GmbH in Hannover hat eine Pilotanlage gebaut und getestet.

¹⁵⁰ Jovanovic, Ivan: Stand der Behandlung und Entsorgung asbesthaltiger Reststoffe 1994, S. 24

¹⁵¹ Jordan-Gerkens, Anke: Entsorgung von Asbestabfällen durch mechanische Faserzerstörung, 2005, S. 27 f.

Festgestellt wird, dass mittels Flusssäure die Faser vollständig zerstört wird. Der energetische Aufwand gegenüber thermischen Verfahren ist verhältnismäßig geringer.

Da die Behandlungskosten vom Preisniveau der Chemikalie abhängen, wurden auch Prozess- und Restsäuren getestet.

5.2.2.4 Diskussion zum Stand der Entsorgung asbesthaltiger Abfälle

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass eine Reihe von Behandlungsverfahren für asbesthaltige Abfälle entwickelt und erprobt wurden, die nachweislich die gesundheitsgefährdende Asbestfaserstruktur zerstören und faserfreie Ausgangsprodukte erzeugen. Nachteilig sind jedoch u. a.:

- der hohe spezifische Energieeinsatz zur Behandlung (z. B. bei der mechanischen Beanspruchung $\sim 5.500 \text{ kWh/t}$),
- die hohen Sicherheitsanforderungen / das Einrichten von geschlossenen Systemen (Schwarzbereich) und
- die teuren Behandlungskosten im Vergleich zur Deponierung.

Die Behandlungskosten für asbesthaltige Abfälle wurden von JORDAN-GERKENS¹⁵² in Abhängigkeit der Investitionskosten für die Anlage bei einem Jahresdurchsatz von 12.000 t, der mechanischen und thermischen Verweilzeit sowie der erforderlichen Temperaturen zur Umwandlung der Faser ermittelt und verstehen sich als Orientierung:

- mechanische Beanspruchung 239 €/t ($t_{\text{mech.}} = 45 \text{ min.}$),
- mechanisch-thermische Behandlung 146 €/t ($t_{\text{mech.}} = 10 \text{ min.}$, $T = 900 \text{ °C}$, $t_{\text{therm.}} = 15 \text{ min.}$)
bis 172 €/t ($t_{\text{mech.}} = 5 \text{ min.}$, $T = 700 \text{ °C}$, $t_{\text{therm.}} = 10 \text{ min.}$),
- AsbestEx – thermische Behandlung 194 €/t ($T = 1.000 \text{ °C}$, $t_{\text{therm.}} = 60 \text{ min.}$).

Bei geringerem Durchsatz von 1.500 t/a betragen die Behandlungskosten für die mechanische Beanspruchung 438 €/t ($t_{\text{mech.}} = 45 \text{ min.}$). Die Wirtschaftlichkeit der jeweiligen Verfahrensvariante hängt allerdings auch von der Erzielung des Erlöses aus dem Verkauf der Produkte ab.

Eine Umfrage der FG Bauliches Recycling zu Asbestannahmegebühren an Deponien im Juni 2007 ergab in den neuen Ländern eine Spanne von 46 €/t bis 140 €/t (lt. Angaben von 11 Unternehmen) und in den alten Ländern von 30 €/t – 250 €/t (lt. Angaben von 12 Unternehmen).

Zum überwiegenden Teil sind Deponierungen preislich günstiger als Anlieferungen an Behandlungsanlagen. Aber nicht nur diese Gründe sind verantwortlich dafür, dass der großtechnische Anlagenbetrieb zur Behandlung asbesthaltiger Materialien nicht oder einzelne Unternehmen nur einige wenige Jahre (AbestEx) am Markt bestehen konnten. Zu diskutieren ist zudem der Absatz der behandelten Austragsmaterialien resp. der erzeugten Produkte. Zum einen unterliegen diese den geltenden bautechnischen Anforderungen aber auch die Akzeptanz spielt eine wichtige Rolle.

In Anbetracht der in naher Zukunft massenhaft anfallenden asbesthaltigen Materialien (vgl. Kap. 5.2.2.1.) und der zunehmend restriktiveren Ablagerungsmöglichkeiten, sollten bestimmte Prozesse zur

¹⁵² Jordan-Gerkens, Anke: Entsorgung von Asbestabfällen durch mechanische Faserzerstörung, 2005, S. 132

Behandlung effizient gelöst und optimale Verwertungsmöglichkeiten vorbereitet werden. Nur energieeinspararme und volumenreduzierende Behandlungsverfahren, die eine vollständige Zerstörung der Struktur der Asbestvarietäten gewährleisten und Wiederverwertungen garantieren, bieten dauerhaft eine Sicherheit und sind zukunftsverträglich.

Die grundlegenden Untersuchungen von JUSTEN und STRÜBEL¹⁵³ zu Verwertungsoptionen thermischer Reaktionsprodukte für die Herstellung

- von Zement,
- von Ziegeln,
- hydraulisch gebundener Deponiebaustoffe, Tragschichten und Formsteine,
- von Splittmastixasphalt

mit dem Ergebnis, dass vorrangig die Verwertungsziele „hydraulisch gebundene Formsteine“ und „Füller für Splittmastixasphalt“ weiter verfolgt werden sollten, bieten gute Ansätze für weitergehende Untersuchungen, aus Abfällen Rohstoffquellen werden zu lassen.

Asbesthaltige Abfälle werden aus den o. a. Gründen derzeit noch fast ausschließlich abgelagert. Die Ablagerung (Deponierung) darf nur in abfallrechtlichen dafür zugelassenen Deponien erfolgen. Asbesthaltige Abfälle dürfen weder für eigene Zwecke wiederverwendet noch an Dritte weitergegeben werden.

Asbest darf nicht Bauschuttrecyclinganlagen oder Erdaushub- oder Bauschuttdeponien (Deponiekategorie (DK) 0) zugeführt werden. Seit dem 01.01.2002 gelten alle Asbestabfälle als gefährlich und unterliegen dem abfallrechtlichen Nachweisverfahren.

Asbesthaltige Abfälle sind gesondert auf Monodeponien der DK I bzw. II gemäß AbfAbIV abzulagern oder gesondert in Monobereichen in dafür geeignete und zugelassenen Deponien¹⁵⁴.

5.3 Künstliche mineralische Fasern (KMF)

Unter dem Oberbegriff KMF werden künstlich hergestellte Mineralfasern aus silikatischen oder zum Teil nichtsilikatischen Mineralfasern zusammengefasst. Der überwiegende Teil der KMF aus Glas-, Stein- und Schlackefasern wird als Mineral-Dämmstoff eingesetzt. Daneben dienen KMF zur Isolierung oder auch zur Verstärkung von Chemiewerkstoffen.

In Plattenbauten sind hauptsächlich KMF zur Wärme- und Schalldämmung mit dem Handelsnamen Kamilit (mit sehr unterschiedlicher Materialbasis) eingesetzt worden als

- Wärmedämmschicht über der obersten Geschossdecke,
- Trittschalldämmung unter Estrichschichten und Badzellen,
- Wärmedämmschicht in mehrschichtigen Außenwänden,

¹⁵³ Justen, Hans-Peter; Strübel, Günter: Verwertungskonzepte für thermische Reaktionsprodukte asbesthaltiger Massen, Oberhessische Naturwissenschaftliche Zeitschrift, Band 60, 2000, S. 17 ff. [www.ohg-natur.de/Band60/Justen.html]; aufgerufen am 04.12.2008]

¹⁵⁴ LAGA-Merkblatt „Entsorgung asbesthaltiger Abfälle, in der Fassung vom 20. Februar 2001, Pkt. 9

- Heiz- und Warmwasserrohrisolationen,
- Isolation Lüftungstechnischer Anlagen,
- Füllung in Brandschutztüren und
- zum Ausstopfen.

Sie werden in Form von Platten (in den Dicken 40 bis 120 mm im Format 1.000 x 500 mm mit Dichten 50 bis 170 kg/m³), von Matten, losen Schüttungen und Rollenware, häufig auf dünne papierverstärkte Aluminiumfolien kaschiert, angetroffen.

Eine verstärkte Anwendung von KMF in Plattenbauten ist seit 1982 festzustellen.

5.3.1 Herstellung und Eigenschaften

Dämmstoffe auf Mineralwollebasis bestehen im Wesentlichen aus Fasern, die aus einer silikatischen Schmelze bei ca. 1.200 °C bis 1.400 °C gewonnen werden. In Abhängigkeit der Ausgangsmaterialien sind im Bauwesen v. a. Glas-, Stein- und Schlackenwollen mit glasigen, amorphen oder kristallinen Fasern zum Einsatz gekommen. Die Ausgangsstoffe sind für:

- Glaswolle
übliche Glasrohstoffe wie Altglas (ca. 60 % Flaschen-, Fensterglas usw.), Sand, Soda und Kalk,
- Steinwolle
Basalt oder Diabas und Zuschlagstoffe,
- Schlackenwolle
Schlacken aus der stahlverarbeitenden Industrie.¹⁵⁵

Durch Ziehen, Blasen oder Schleudern entstehen Fasern mit einer Dicke von 2 bis 8 µm in Längen von einigen Zentimetern.

Mineralwolle-Dämmstoffe enthalten mind. 90 % KMF, bis zu 7 % Kunstharz, ca. 1 % Öle und weitere Zusätze, z. B. Wasser abweisende Stoffe. Die Kunstharze (Phenol, Harnstoff und Formaldehyd) dienen als Binder und garantieren die Form der Dämmstoffe. Die Öle, meist Mineralöle, wirken als Staubbindemittel.¹⁵⁶

Für den Dämmstoff Kamilit wurden als Ausgangsstoffe Schlackenwolle (Stoffbasis: SiO₂, CaO, MgO Al₂O₃, Fe₂O₃ u. a.) und Glasfasern (Stoffbasis: SiO₂, CaO, Na₂O₂, (Al₂O₃, MgO)) verwendet.¹⁵⁷

Ähnlich wie Asbest sind die technischen Eigenschaften von KMF zu bewerten:

- nicht brennbar,
- diffusionsoffen,

¹⁵⁵ Schlackenwolle wird zwischenzeitlich nicht mehr in Deutschland verarbeitet.

¹⁵⁶ Umgang mit Mineralwolle-Dämmstoffen (Glas-, Steinwolle), Handlungsanleitung, 2000, Pkt. 1, 5.4

¹⁵⁷ Mettke, Angelika; Lanzke, Cynthia; Baudisch, Ines; Kraus, Alexander: Studie Abbruch von Plattenbauten, i.A. des Verbandes für Abbruch und umweltgerechte Entsorgung in Mecklenburg-Vorpommern e.V., 2003, S. 31

- resistent gegen Schimmel, Fäulnis und Ungeziefer,
- gute Wärmeleitfähigkeit, aber geringe Wärmespeicherfähigkeit,
- begrenzt beständig gegen Wasser und Chemikalien.

In nachstehender Tabelle 5.4 sind einige Kennwerte von Glas-, Stein- und Schlackenwolle gegenüber gestellt.

Tab. 5.4: Gegenüberstellung ausgewählter Kennwerte von Glas-, Schlacken- und Steinwolle¹⁵⁸

Technische Eigenschaften, Umweltaspekte	Glaswolle	Steinwolle	Schlackenwolle
Kennwerte			
Wärmeleitfähigkeit λ (R) [W / (m·K)]	0,035 – 0,045		0,035 - 0,040
Spez. Wärmespeicherkapazität [J/kg·K]	840 – 1.000	840	840 – 1.000
Wasserdampfdiffusionswiderstand μ	1 - 2		
Baustoffklasse	A2 nicht brennbar	A1, A2 nicht brennbar	A1 nicht brennbar
Rohdichte ρ < [kg/m³]	20 – 153	22 – 200	80 - 220
Umweltaspekte			
Primärenergiegehalt [kWh/m³]	250 – 500	150 - 400	
Recyclbarkeit	zum Teil	begrenzt recycelbar	
Kompostierbarkeit	nein	nein	
Deponiefähigkeit	ja	ja	ja

5.3.2 Gesundheitliche Bewertung

Die von KMF¹⁵⁹ ausgehenden gesundheitlichen Gefährdungen hängen von der Faserkonzentration in der Umgebungsluft, der Fasergeometrie, ihrer Biobeständigkeit und den chemischen Zusätzen ab. KMF können Reizungen der Haut, Augen und / oder der Atemwege bewirken.

Verantwortlich für Hautreizungen sind die größeren Fasern mit einem Durchmesser von mehr als 5 μm . Sie bewirken bei Hautkontakt einen unangenehmen Juckreiz.

Bei Allergikern sind allergische Reaktionen aufgrund der Zusätze (Kunsthharze, Öle) möglich.

Wie bei jedem anderen mineralischen Staub können aus KMF-Dämmstoffen Stäube zu Augenreizungen wie auch zu Reizungen der Luftröhre, Bronchien, des Rachenraumes und der Nasenschleimhaut führen.

¹⁵⁸ zusammengefasst nach Angaben von Nierobis, Lars: Dämmstoff: Mineralfasern – Mineralwolle: Glaswolle, Steinwolle und Schlackenwolle, 2003 [www.waermedaemmstoffe.com/htm/mineralwolle.htm; aufgerufen am 25.01.2009]

¹⁵⁹ TRGS 905, Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe, Pkt. 2.3

Fasern „kritischer Größe“ (vgl. Kap. 5.2.1.4), die eine bestimmte Bioresistenz aufweisen, können Tumore erzeugen. Die Gefährlichkeit der KMF erfolgt deshalb hinsichtlich der Fasergeometrie und ihrer Biobeständigkeit resp. –löslichkeit mittels des Kanzerogenitätsindex (KI). Dies erfolgt anhand der Ermittlung der chemischen Zusammensetzung und / oder der in Tierversuchen ermittelten Beständigkeit / Löslichkeit der Fasern.

Die stoffliche Zusammensetzung der zu bewertenden Mineralfasern ergibt sich gemäß TRGS 905¹⁶⁰ aus der Summe der Massengehalte (in v. H.) der Oxide von Natrium, Kalium, Bor, Calcium, Magnesium, Barium und dem doppelten Massengehalt (in v. H.) von Aluminiumoxid:

$$KI = Na_2O + K_2O + B_2O_3 + CaO + MgO + BAO - 2 \times Al_2O_3$$

Mineralfasern nach WHO-Definition werden nach dem KI wie folgt nach GefStoffV eingestuft¹⁶¹:

- glasige WHO-Fasern mit $KI \leq 30$
 - Kategorie K2: Stoffe, die als krebserzeugend für Menschen angesehen werden sollten (= krebserzeugende Wirkung im Tierversuch nachgewiesen, beim Menschen wahrscheinlich).
 - => Glas- und Steinwolle, (Keramikfasern) (gemäß DFG);
- glasige WHO-Fasern mit $KI > 30$ und $KI < 40$
 - Kategorie K3: Stoffe, die wegen möglicher krebserzeugender Wirkung beim Menschen Anlass zur Besorgnis geben, jedoch nicht ausreichend Informationen vorliegen (= Hinweis auf krebserzeugende Wirkung im Tierversuch, beim Menschen Verdacht auf krebserzeugende Wirkung)
 - => Schlackenwolle (gemäß DFG);
- glasige WHO-Fasern $KI \geq 40$
 - keine Einstufung als krebserzeugend.

KMF-Produkte, die vor 1996 eingebaut wurden, sind – und dazu zählen die in Plattenbauten verbauten KMF – als krebserzeugend einzustufen, es sei denn ein widerlegbarer Einzelnachweis liegt vor.

Seit 1996 werden in Deutschland Mineralwolleprodukte hergestellt, die als unbedenklich gelten.

Seit dem 1. Juni 2000 dürfen in Deutschland nur noch solche Mineralwolleprodukte hergestellt werden, die gemäß Anhang V GefStoffV hinsichtlich ihrer kanzerogenen Wirkung als unbedenklich einzustufen sind.

Bei KMF-Produkten, die zwischen 1996 und 2000 verbaut wurden, kann noch ein Krebsverdacht bestehen. Widerlegt werden kann dies wiederum nur durch einen Einzelnachweis.¹⁶²

¹⁶⁰ TRGS 905, Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe, Pkt. 2.3

¹⁶¹ vgl. Künstliche Mineralfasern – Handlungsanweisung mit Bewertungsgrundlagen, aufgestellt von Arbeitsgruppe bÜg, Okt. 2003, S. 12

¹⁶² Umgang mit Mineralwollgedämmstoffen (Glaswolle, Steinwolle). Handlungsanleitung, 2000, Pkt. 2, S. 6

5.3.3 Umgang und Entsorgung

In der Praxis werden grundsätzlich zwei Fälle von Mineralwolledämmstoffen unterschieden, die sog.

- „alten“ Mineralwollen (biopersistente künstliche Mineralfasern nach Anhang IV Nr. 22 GefStoffV), bei denen die freigesetzten Faserstäube nach TRGS 905¹⁶³ als krebserzeugend gelten und
- „neuen“ Mineralwollen, die die Freizeichnungskriterien des Anhang IV Nr. 22 der GefStoffV erfüllen und als nicht krebserzeugend gelten.

Der **Umgang** mit „alten“ Mineralwollen ist seit dem Herstellungs- und Verwendungsverbot nach Anhang IV Nr. 22 GefStoffV (01.06.2000) nur noch im Zuge von Abbruch-, Demontage- und Instandhaltungsarbeiten zulässig.

Wird die KMF-Zusammensetzung nicht ermittelt – und das ist in der Praxis die Regel –, greift im Sinne einer „worst-case“-Betrachtung der ungünstigste Fall: die Einstufung der KMF-Produkte als krebserzeugend, Kategorie 2 nach TRGS 905. Diese Bewertung hat jedoch nicht zur Folge, die „alten“ KMF-Produkte aus dem Gebäude zu entfernen.

Bei Abbruch- und Rückbaumaßnahmen von Plattenbauten muss bei Mineralfaserfunden grundsätzlich erst einmal von einem Krebsverdacht ausgegangen werden. D. h., es ist der gesamte Maßnahmenkatalog gemäß TRGS 521 zum Arbeitsschutz zugrunde zu legen sowie die BGR 128.

Dass der Kanzerogenitätsindex unterschiedlich ausfällt, ist bekannt und konnte von der Fachgruppe Bauliches Recycling bestätigt werden. Die von verschiedenen Rückbaustellen entnommenen Materialproben von KMF-Rohrisolierungen ergaben Einstufungen sowohl in die Kategorie 3 als auch 2.

KMF-Produkte sind selektiv und zerstörungsfrei auszubauen und fachgerecht – getrennt vom übrigen Bauschutt – zu entsorgen.

Bei der **Entsorgung** von KMF-Abfällen ist – ebenso wie beim Umgang mit KMF-Abfällen – die Einstufung der Fasern nach dem Kanzerogenitätsindex maßgebend. Fasern mit KI \leq 40, hergestellt vor dem 01.06.2000, sind als gefährliche Abfälle einzustufen (AVV 170603*, anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält). Die Einstufung gilt auch für KMF-Abfälle unbekannter Qualität und ohne RAL-Gütezeichen¹⁶⁴.

Nur bei zweifelsfrei nachgewiesener nicht krebserzeugender Mineralwolle mit einem KI $>$ 40 (nach dem 01.06.2000 hergestellt) ist der Abfall nicht gefährlich (AVV 170604, Dämmmaterial mit Ausnahme desjenigen, das unter 170601* und 170603* fällt).

Die Freisetzung von KMF-Stäuben ist während des Ausbaus, Sammelns, Beförderns und Entsorgens wirksam zu unterbinden. KMF-Abfälle müssen in geschlossenen, gekennzeichneten Behältnissen (reißfeste und staubdichte PE-Kunststoffsäcke oder Big-Bags) verpackt werden und sind auf Deponien der Klasse I oder II unter Beachtung der jeweiligen Zuordnungswerte abzulagern¹⁶⁵ (landesspezifische Andienungspflichten sind dabei zu beachten).

¹⁶³ TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe“, Ausgabe: Juli 2005, zuletzt geändert und ergänzt: Mai 2008

¹⁶⁴ wird nur der Vollständigkeit halber aufgeführt, denn erst seit 1999 wird das RAL-Zeichen für nicht krebserzeugende KMF vergeben [vgl. KMF, Abfallratgeber Bayern, BayLfU, Febr. 2008]

¹⁶⁵ KMF, Abfallratgeber Bayern, BayLfU, Febr. 2008, S. 2 f.; Fritsch, Edwin: Abschlussbericht „Errichtung einer Anlage zur Verwertung von Mineralfaserstoffen als Porosierungsmittel in der Ziegelindustrie“, Nov. 2003, im Auftrag des Umweltbundesamtes

Die Entsorgungskosten für KMF-Produkte liegen nach Umfragen der Fachgruppe Bauliches Recycling im Jahr 2008 zwischen 100 bis 600 €/t.

Ausgebaute „alte“ KMF-Produkte dürfen nicht wieder verbaut werden.

In Deutschland fallen jährlich etwa 200.000. bis 300.000 t Glas- und Steinwollen an, die überwiegend auf Deponien abgelagert werden. Zur Verminderung der zu deponierenden KMF-Abfälle wurde ein neues umweltverträgliches **Verwertungsverfahren** entwickelt. Dieses bisher einzige stoffliche Verwertungsverfahren für KMF-Abfälle ist von der Firma Wool.rec. GmbH in Braunfels bei Wetzlar gemeinsam mit GAETH, Professor für Abfall- und Ressourcenmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen, entwickelt worden. Bei der Aufbereitung wird das Produkt Woolit® (patentrechtlich geschützt) gewonnen, das in der Ziegelindustrie Verwendung findet. Beim Produktionsverfahren werden die zerkleinerten KMF-Abfälle mit Tonmineralen und natürlichen Bindemitteln gemischt, gepresst und für die weitere Verarbeitung konfektioniert. Bei der Ziegelbrennung schmelzen die Fasern und es entstehen poröse Strukturen, die sich vorteilhaft auf die wärmedämmenden Eigenschaften des Ziegels (25 – 50 % höherer k-Wert) auswirken. Durch das Verglasen der Fasern wird die Ziegelfestigkeit erhöht. Im Vergleich zu herkömmlichen Porosierungsmitteln ist Woolit® preisgünstiger. Die verbesserte Wärmedämmung der verbauten Ziegel hat zudem positive Auswirkungen auf die Umwelt, weil der Energieverbrauch in der Nutzungsphase verringert wird. Der Regelbetrieb ist nach einer Testphase seit Juli 2003 immissionsschutzrechtlich genehmigt.¹⁶⁶

Nach Auskunft von Prof. Gäth werden inzwischen jährlich 24.000 t KMF-Abfälle von der Fa. Woll.rec. GmbH verarbeitet. Die ursprünglich geplante Anlage in Gotha ist nicht in Betrieb gegangen, aber in Kürze entsteht eine zweite Anlage in der Nähe von Wetzlar.

Darüber hinaus wird an der umweltgerechten Behandlung und Verwertung gefährlicher Mineralwollen auf der Basis der Multi-Mode-Mikrowellentechnologie – kurz: Mineralwollebehandlungsverfahren – geforscht. Die Projektleitung hat das Iff Weimar, gefördert wird das Projekt von der DBU. Das Ziel der Behandlung besteht darin, die KMF's zu verschlacken und den Rohstoff für die Baustoffindustrie bereitzustellen. Aufgrund der chemischen Zusammensetzung (Hauptoxide SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO) wird ein Einsatz des hergestellten Feinmaterials für die Zementproduktion, Betonherstellung, Ziegelherstellung oder im Asphalt erwartet. Der entstehende Vorteil bei diesem Verfahren gegenüber dem Woolrec-Verfahren wird von den Erfindern darin gesehen, dass die Faseremissionen zu Beginn des Behandlungsprozesses herabgesetzt werden, da die Vermahlung in Exzentrerschwingmühlen erst nach der Verschlackung erfolgt. Geschätzt wird, dass die Behandlung pro Tonne KMF etwa 80 € kosten wird.¹⁶⁷

Aufgrund der erfolgreich durchgeführten Versuche im Labormaßstab wird davon ausgegangen, dass das Projekt bis zur Praxisreife weitergeführt werden kann. Das endgültige Ergebnis bleibt folglich abzuwarten.

¹⁶⁶ Wie aus Glas- und Steinwolle ein kostbarer Rohstoff wird [www.uni-protokolle.de/nachrichten/id/33023; aufgerufen am 15.05.2007];

Fritsch, Edwin: Abschlussbericht „Errichtung einer Anlage zur Verwertung von Mineralfaserstoffen als Porosierungsmittel in der Ziegelindustrie“, Wool.rec. GmbH, Nov. 2003, im Auftrag des Umweltbundesamtes

¹⁶⁷ Leydolph, Barbara; Müller, Anette et.al.: Entwicklung eines neuartigen Verfahrens zum umweltgerechten Behandeln und Verwerten kanzerogener Mineralwolle auf Basis der Multi-Mode-Mikrowellentechnologie, 2008

5.3.4 Problemstellung: KMF-haltige Außenwände

Beim Abbruch und bauteilorientierten Rückbau von Plattenbauten stellt sich die Frage, wie mehrschichtige Außenwände (AW), die mit KMF gedämmt sind, sicher und kostengünstig ausgebaut und entsorgt werden können.

Dazu wurden wissenschaftlich begleitende Untersuchungen von der FG Bauliches Recycling, unter Leitung und Mitarbeit der Autorin, durchgeführt. Auf wesentliche Ergebnisse¹⁶⁸ wird nachfolgend eingegangen.

▪ Fundstellen, Ermittlung kamilithaltiger Außenwände

Es erwies sich, dass der Einsatz von Mineralwollen (mit dem Handelsnamen Kamilit) in Außenwänden innerhalb eines Wohnblockes starken Schwankungen unterliegt. So kann die gesamte Außenwand eines Gebäudes mit Kamilit gedämmt sein oder kamilithaltige Außenwände sind sporadisch verteilt anzutreffen.

Da es keine zerstörungsfreien Messmethoden gibt, mit denen festgestellt werden kann, ob Kamilit in AW verbaut wurde oder nicht, kommt es in der Praxis entweder wegen des zu geringen Stichprobenumfangs (Entnahme von Bohrkernen) oder des „worst-case“-Ansatzes (100 % KMF Verwertung als Dämmschicht) immer wieder zu Fehlanalysen. Dies wiederum kann zu Gesundheitsgefährdungen führen, wenn unerkannt schadstoffbelastete Bauteile ohne Schutzstufenkonzept abgebrochen werden.

Deshalb ist es wichtig, einfach handhabbare zerstörungsfreie Messmethoden zur Ermittlung verbauter Dämmstoffarten in Verbundkonstruktionen zu entwickeln.

▪ Rückbau / Abbruch kamilithaltiger Außenwände

Als Arbeitshilfe zur Planung und Durchführung für den selektiven Ausbau von schadstoffbelasteten Außenwänden dient das „Merkblatt zum Rückbau von Plattenbauten mit Kamilit in den Betonaußenwandplatten“¹⁶⁹.

Da es für Kamilit keinen Arbeitsplatzgrenzwert gibt, werden Arbeitsverfahren empfohlen, die erprobt wurden und bei denen so wenig wie möglich Fasern freigesetzt werden:

1. Selektiver Rückbau der Außenwand mit Kran oder
2. Abwurf der Außenwand mittels Bagger mit Longfrontausleger, Pulverisierer oder Abbruchzange in ein Kiesbett (kleiner 6 Geschosse) oder
3. Abheben der Platte mittels Bagger mit Longfrontausleger, Pulverisierer oder Abbruchzange (kleiner 6 Geschosse).

¹⁶⁸ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 1: Krangeführter Rückbau, 2008, S. 124 ff.

¹⁶⁹ Merkblatt der Bundesländer Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen, April 2005

Alle Verfahren verfolgen das Ziel, die Außenwandplatte in Gänze, beschädigungsfrei aus dem Konstruktionsverband herauszulösen. Mit dem erstgenannten Verfahren wird diese Zielsetzung mit Sicherheit erreicht; es werden keine Fasern freigesetzt.

Die gemessenen Faserfreisetzungen beim Abwurf kamilitbelasteter Wände (2. angegebenen Verfahren; dabei entsprach das Anbaugerät jedoch nicht den Vorgaben des Merkblattes: zum Einsatz kam ein Abbruchstiel) beliefen sich zwischen ca. 1.500 bis 31.500 F/m³ (errechneter 95 %-iger Vertrauensbereich). Die schadstoffbelastete Außenwand zerbrach vielfach während des Abwurfs (s. Abb. 5.7). Diese Faserkonzentration ist allerdings weitaus geringer als die, die beim herkömmlichen Abbruch mittels Bagger und Abbruchzange bei der Zerstörung der Dreischichtenplatte zur Freisetzung von KMF bis zu 130.000. F/m³¹⁷⁰ führte.

Bei Ausschöpfung aller technischen Möglichkeiten zur Vermeidung bzw. Verminderung der Exposition von KMF gegenüber den Beschäftigten (GefStoffV § 11 Abs. 3) wird der Variante 1, selektiver Rückbau der AW mit Kran, eindeutig der Vorzug eingeräumt. Dem stehen allerdings die höheren Kosten für den Kraneinsatz im Vergleich zum Baggereinsatz (Varianten 2 und 3) gegenüber.

▪ Entsorgung kamilithaltiger Außenwände

Kamilithaltige AW können entweder in Gänze, d. h. als unbeschädigte Platte, als gefährlicher Abfall einer genehmigten Zerlegungsanlage zugeführt werden (bspw. wird in Velten, nordöstlich von Berlin, eine Anlage betrieben) oder die aus der Platte ausgebaute KMF-Dämmung wird selektiv von der Wetterschale und Tragschicht als gefährlicher Abfall sachgemäß – wie o. a. – entsorgt.

Aus Kostengründen (-vorteilen) wird fast ausschließlich die schadstoffbelastete AW auf der Rückbaustelle in ihre einzelnen Schichten (Wetterschale und Tragschicht = ungefährlicher Abfall und die KMF-Dämmung = gefährlicher Abfall) zerlegt und anschließend ordnungsgemäß entsorgt. Trotz persönlicher Arbeitsschutzausrüstungen der Arbeitskräfte, die manuell KMF-Dämmwolle selektieren, fehlte oftmals die Einrichtung eines Schwarzbereiches auf der Baustelle (s. Abb. 5.8).

Mit der Auftrennung der belasteten Außenwände in gefährliche Abfälle (Kamilit) und in nicht gefährliche Abfälle (Stahlbeton) kann sowohl das zu deponierende Abfallaufkommen von ca. 6 t auf ca. 50 kg TM KMF-Dämmwolle je AW reduziert und demzufolge auch Entsorgungskosten eingespart werden.

Deshalb wird der Zerlegung der AW in seine einzelnen Schichten am Anfallort unter Einhaltung der Sicherheitsmaßnahmen der Vorzug eingeräumt. Bei der es primär um das sichere, gesunde Arbeiten der Rückbautätigen geht und ein wirtschaftlicher sowie Umwelt-Vorteil besteht.

¹⁷⁰ Wagner, Bertram: Aktualisierung der Schlussfolgerungen des Berichts Maßnahmen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes für den Abbruch und Rückbau von entkernten Plattenbauten [www.arbeitsschutz-sachsen.de/publications/mitteilungshefte/2004 ... ; aufgerufen am 26.01.2009]



Abb. 5.7: Abwurf kamilitbelasteter Außenwände
in ein Kiesbett



Abb. 5.8: Selektion der KMF-Dämmwolle aus den
demontierten Außenwänden auf der
Rückbaubaustelle

Alternativ dazu besteht die Option, die KMF-Schicht im eingebauten Zustand von der AW zu entfernen (s. Abb. 5.9 a, b) bei festgestellter punktueller Belastung. Der manuelle Aufwand (handgeführter Abtrag der Wetterschale, Entfernen der KMF-Dämmwolle, Säuberung der Tragschicht), die technologisch bedingten Hilfsmittel (Gerüst stellen oder Hebebühneneinsatz) sowie die Sicherung der Betonbruchstücke und KMF-Dämmwolle gegen Herabfallen führen allerdings insgesamt zu einem sehr hohen Aufwand.



Abb. 5.9 a)



Abb. 5.9 b)

Abb. 5.9: Abtrag der kamilitbelasteten Schicht von der AW im eingebauten Zustand

5.3.5 Diskussion

Die Recherchen und eigenen Untersuchungen zur Erkennung, zum Umgang und zur Entsorgung von KMF-Dämmwollen verdeutlichen, dass

- die Verwertung von aufbereiteten KMF-Produkten noch nicht flächendeckend in Deutschland Priorität vor der Ablagerung auf Deponien hat,
- geeignete, leicht handhabbare Prüfverfahren zur Erkennung schadstoffhaltiger Außenwände fehlen, um mehr Planungssicherheit zu erhalten,
- den Lösungen zum effizienten Ausbau von schadstoffbelasteten Außenwänden der Vorzug eingeräumt werden muss, die die Sicherheit der Beschäftigten und der geringsten Umweltbeeinflussung garantieren.

Deshalb sind auch bei der Thematik „Schadstoffe in Gebäuden“ nicht nur einseitige Lösungen unter eines ruinösen Preiswettbewerbes – so wie es überwiegend derzeit der Fall ist – gefragt, sondern neue, nachhaltige Lösungen, die ökologische, ökonomische und soziale Prämissen vereinen und damit zu höherer Qualität und Sicherheit für Menschen und Umwelt beim Rückbauen und der Entsorgung beitragen.

5.4 Teerhaltige Baumaterialien

Beim Abbruch resp. Rückbau von Plattenbauten kann es des Weiteren nicht ausgeschlossen werden, teerhaltige Materialien anzutreffen, die zur Abdichtung oder als Isolier- und Klebemittel verwendet wurden. Da in Plattenbauten hauptsächlich teerhaltige Dachpappen festgestellt wurden, konzentrieren sich nachfolgend die Ausführungen darauf.

Zur Abdichtung der Dächer sind seinerzeit teer- sowie bitumenhaltige Dachpappen verwendet worden.

Die Trägerbahn (aus Pappe, Papier oder Vlies) ist früher beidseitig mit Teer beschichtet worden; heute wird ausschließlich Bitumen¹⁷¹ verwendet.¹⁷²

In der Altbundesrepublik kamen bis etwa 1970¹⁷³ / 1978¹⁷⁴ teerhaltige Baumaterialien zum Einsatz (teerhaltiger Asphalt im Straßenbau bis etwa 1984), in der DDR bis 1991¹⁷⁵.

Es sind Fälle aufgetreten, wo Bitumen-Dachpappen ein bis mehrere Teeranstriehe aufwiesen. Damit sind einst nicht schadstoffbelastete Dachbahnen durch Dachsanierungsarbeiten nachträglich kontaminiert worden.

Das bundesweite Aufkommen an Dachbahnen (bitumen- und teerhaltig) wird auf Größenordnungen von 200.000.t/a geschätzt.

¹⁷¹ Bitumen ist ein Bindemittel, das bei der Destillation von Erdöl als Rückstand entsteht [Hiese, Wolfram (Hrsg.): Baustoffkenntnis, 2003, S. 549]

¹⁷² Merkblatt zur Entsorgung von teerhaltiger Dachpappe, SBB Sonderabfallgesellschaft Brandenburg / Berlin mbH, Stand 27.10.2003

¹⁷³ Rötgers, Dagmar: Giftstoffe und Belastungen beim Bauen im Bestand, Fa. Smolczyk & Partner (S & P) GmbH, Stuttgart, PP-Präsentation, Folie 32

¹⁷⁴ Bonner, Andrea: Schadstoffe in Gebäuden, BG Bau, Saarbrücken, Mai 2008, PP-Präsentation, Folie 12

¹⁷⁵ Mettke, Angelika (Hrsg.): Rahmentechnologie, Rückbau- / Demontagevorhaben Plattenbauten am Beispiel der Typenserie P2, Cottbus, 2004, S. 45

Bei einer Lebensdauer der Dichtungsbahnen von etwa 15 – 30 Jahren (abhängig vom Zeitpunkt der Herstellung, verwendeter Materialien und der Instandhaltung des Daches) kann davon ausgegangen werden, dass in Westdeutschland ein weitgehender Austausch der teerhaltigen Dachbahnen gegen bitumenhaltige erfolgt ist.¹⁷⁶

In Ostdeutschland hingegen muss, aufgrund der Produktionszeit bis Anfang 1990, mit teerhaltigen Dachbahnen im Zuge von Rückbau- / Abbruchmaßnahmen bis etwa 2020 gerechnet werden.

5.4.1 Stoffdaten, Merkmale, Gefährdungseinstufung

Teer ist ein bräunliches bis schwarzes, zähflüssiges Produkt, das bei einer trockenen Destillation (Pyrolyse) organischer Naturstoffe (Steinkohle, Braunkohle, Holz, Torf u. a. fossilen Brennstoffen) entsteht und in erster Linie aus Kohlenwasserstoff-Gemischen besteht (chemisches Merkmal: mindestens drei direkt aneinander gebundene Benzolringe). Die chemische Zusammensetzung ist aufgrund der Herkunft sehr unterschiedlich.

Wirtschaftliche Bedeutung haben die Steinkohlen- und Braunkohlenteere.¹⁷⁷

Im Teer sind mehrere tausend chemische Einzelsubstanzen vorhanden, wovon nur ca. 500 Stoffe bekannt sind. Als Leitkomponenten gelten die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK)¹⁷⁸, Phenole und weitere aromatische und aliphatische Kohlenwasserstoffe.

PAK treten i. d. R. nur als Stoffgemisch auf. Bisher nachgewiesen sind mehrere hundert Einzelverbindungen.

Mit dem Untersuchungsparameter PAK werden in der Abfallanalytik 16 Einzelkomponenten (von der amerikanischen Umweltbehörde EPA (Environmental Protection Agency) als repräsentativer Standard empfohlen) untersucht. Als Leitkomponente für die Bewertung von PAK-Belastungen wird das Benzo(a)pyren (BaP) herangezogen, das aufgrund seines Gefährdungspotenzials bei mehr als 50 mg / kg TS als krebserzeugend (K2) eingestuft wird, erbgutverändernd (M2), schädigend für die Fortpflanzung und Fruchtbarkeit (R_F2) ist und frucht- und entwicklungsschädigende Wirkung (R_E2) aufweist.¹⁷⁹

PAK-haltige Materialien sind nach ChemG¹⁸⁰ umweltgefährlich (N) und werden gemäß VwVws¹⁸¹ in die WGK 3, stark wassergefährdend, eingestuft.

¹⁷⁶ Teer- / bitumenhaltige Dachbahnen, Abfallratgeber, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Juni 2007, S. 1

¹⁷⁷ Falbe, Jürgen; Regitz, Manfred (Hrsg.): Römpp Chemie Lexikon, 1995, S. 4474

¹⁷⁸ PAK englisch: PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)

¹⁷⁹ GefStoffV in Verbindung mit TRGS 905

¹⁸⁰ ChemG: Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikaliengesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. Juli 2008 (BGBl. I, S. 1146)

¹⁸¹ VwVws: Verwaltungsvorschrift wassergefährdender Stoffe, Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Wasserhaushaltsgesetz über die Einstufung wassergefährdender Stoffe in Wassergefährdungsklassen vom 27. Juli 2005

PAK sind ubiquitär in der Umwelt verbreitet. Sie werden überwiegend als Partikel, gebunden an Staub, Ruß, Pollen, mit der Luft verteilt. Messungen von Benzo(a)pyren in der Außenluft haben bspw. folgende Konzentrationen ergeben¹⁸²:

- im städtischen Bereich 1 bis 10 ng/m³,
- in Reinluftgebieten ≤ 1 ng/m³.

Die Einstufung von Dachbahnen als gefährlicher Abfall erfolgt bei der PAK-Analyse (Σ der 16 PAK nach EPA) nach unterschiedlichen Grenz- oder Richtwerten. Nach § 3 (2) AVV in Verbindung mit den Hinweisen vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) zur Anwendung der AVV werden teerhaltige Dachbahnen bei einer PAK-Konzentration von ≥ 1.000 mg/kg als gefährlich eingestuft¹⁸³. Dies gilt bspw. auch in Bayern. In den Ländern bspw. Brandenburg¹⁸⁴ und Rheinland-Pfalz¹⁸⁵ gelten teerhaltige Pappen als gefährlicher Abfall bei einer PAK-Konzentration > 100 mg/kg (TS) und sind der Abfallart „Kohlenteer und teerhaltige Produkte“ (AVV 170303*) zuzuordnen.

Auch Bitumenbahnen enthalten PAK. Auch hier gilt der zuvor genannte länderspezifisch vorgegebene Grenzwert. D. h. für Brandenburg und Rheinland-Pfalz gelten Bitumenpappen mit < 100 mg/kg PAK als nicht gefährlich und können demzufolge dem Abfallschlüssel 170302 zugeordnet werden.

Neben den PAK in Teeren wirken weitere Stoffe – wie Phenole, Kresole u. a. –, von denen gesundheitliche Gefährdungen ausgehen können. Neben dem Merkmal meist leicht flüchtig sind sie atemwegsreizend sowie hautresorptiv. Daraus ergeben sich folgende mögliche Gesundheitsrisiken:

- akute Wirkung: Reizung der Haut, Augen und Atemwege,
Hautpigmentierung,
UV-Sensibilisierung;
- chronische Wirkung: Hautveränderung,
Leber- und Nierenschädigung,
Schädigung des zentralen Nervensystems;
- Folgeerkrankungen: Haut-, Kehlkopf- und Lungenkrebs.¹⁸⁶

¹⁸² Forschungsinstitut für Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (BGFA): DNA-Schädigung durch Benzo(a)pyren, BGFA-Info 3/2000;

vgl. auch Clausnitzer, Klaus-Dieter; Imann, Christian; Kopiske, Gerhard: Grundlagen der Einsatzmöglichkeiten und –hemmnisse einer Lüftungsampel, Teilbericht 1, Verbundprojekt: Energetische Verbesserung der Bausubstanz, Juli 2003, S. 53 ff.

¹⁸³ BMU: Hinweise zur Anwendung der Anfallverzeichnis-Verordnung (AVV) vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379) zuletzt geändert 24. Juli 2002, (BGBl. I S. 2833), S. 16: „Die Konzentrationsgrenze für PAK in Abfällen beträgt 0,1%“

¹⁸⁴ Sonderabfallgesellschaft Brandenburg / Berlin mbH (SBB): Merkblatt zur Entsorgung von teerhaltiger Dachpappe, Stand 27.10.2003

¹⁸⁵ Datenblätter für Bauabfälle, Rheinland Pfalz, Datenblatt Nr. 31, Stand 01.10.2003

¹⁸⁶ Klug, Markus; Stettinisch, Markus; Henzel, Harald et. al.: Handlungsanleitung für den Umgang mit teerhaltigen Materialien im Hochbau – PAK-Handlungsanleitung, Nov. 2007, S. 6

5.4.2 Analysemethoden

Die Beurteilungsgrundlage für PAK bilden Luft- und Staubmessungen sowie Materialproben¹⁸⁷:

- Luft

Analyse von PAK nach Extraktion und säulenchromatografischer Reinigung mittels hochauflösender Gaschromatographie und niederauflösender Massenspektroskopie gemäß EPA 610;

- Staub- und Materialproben

nach Kaltextraktion gemäß EPA 610.

Die DIN EN ISO 17993, EPA 610¹⁸⁸ dient der qualitativen und quantitativen Bestimmung von 16 Substanzen in PAK nach US-EPA. Eine detaillierte Erläuterung zur Laboranalyse gibt u. a. das Labor für Wasser, Abwasser, Abfallstoffe in Lüneburg¹⁸⁹.

Da es bei Abbruch- / Rückbaumaßnahmen und an Baustoff-Recyclinganlagen zunehmend wichtiger wurde, möglichst schnell zu erkennen, ob es sich um kontaminiertes Material handelt befasste sich v. a. die Forschungsvereinigung Recycling und Wertstoffverwertung im Bauwesen e. V. (RWB) Bremen mit dieser Aufgabe (und bietet auch Schulungskurse an). Nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über Schnelltests zur Erkennung von Teer und PAK, die als Orientierungshilfe (keine eindeutige Identifikation des Schadstoffgehaltes) für Schädigungspotenziale herangezogen werden können. Eine quantitative Aussage kann dadurch nicht ersetzt werden.

Tab. 5.5: Schnelltests für Teer, PAK¹⁹⁰

Test	Prüfung auf	Zeit	Vorort + bei jedem Wetter
Teerpistole	Teer*	1 min.	ja
Lacksprühtest	Teer*	1 min.	ja
Testpapier	PAK	20 min.	ja
Enzymtest	PAK / MKW u. a.	25 min.	nein
Dünnschicht-Chromatographie (DC)	PAK / MKW	30 min. / 6 Proben	nein

* nicht PAK

¹⁸⁷ LinoDiagnostic: PAK, PAK-Messungen, http://linoag.de/mess_pak.html; aufgerufen am 27.01.2009

¹⁸⁸ DIN EN ISO 17993, EPA 610: 2004 – 03, Bestimmung von 15 polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen durch Hochleistungs-Flüssigkeitschromatografie (HPLC) mit Fluoreszenzdetektion nach Flüssig-Flüssig-Extraktion

¹⁸⁹ Universität Lüneburg, Fakultät Umwelt und Technik, Labor für Wasser, Abwasser, Abfallstoffe: PAK; www.campus-suederburg.de/einrichtungen/labore/Chemie/PAK-DIN38414-S23.pdf; aufgerufen am 29.01.2009

¹⁹⁰ Lau, Jens-Jürgen: Schnellerkennung – Schadstoffe in Bauschutt und Böden – schnell erkennen und messen – PAK, Sulfat, MKW und Asbest, Seminarunterlage, Dezember 2008

5.4.3 Anforderungen an den Ausbau und die umweltverträgliche Entsorgung von teerhaltigen Dachpappen

Teerhaltige Dachpappen sind unter Einhaltung des Schutzkonzeptes gemäß TRGS 551 durch staubarme Arbeitsverfahren getrennt von nicht schadstoffbelasteten Baustoffen auszubauen, in festen, staubdichten und gekennzeichneten Behältern (z. B. Big-Bags, geschlossene Container) zu sammeln, aufzubewahren und entsprechend der Transportgenehmigungsverordnung (TgV)¹⁹¹ gewerbsmäßig nur mit einer Transportgenehmigung zu befördern.

Eine ausgezeichnete Handlungshilfe zu Tätigkeiten beim Umgang mit teerhaltigen Materialien im Hochbau gibt die PAK-Handlungsanleitung¹⁹², hrsg. vom LAGetSi.

Die mit dem Abfallschlüssel 170303* eingestuften Dachpappen unterliegen – wie alle gefährlichen Abfälle – nach § 43 (1) KrW-/AbfG der Nachweispflicht. Vor Beginn der Entsorgungsschritte haben Abfallerzeuger und Einsammler gemäß der Nachweisverordnung Entsorgungsnachweise anzufertigen und diese sich durch die zuständigen Behörden bestätigen zu lassen.

Bei der Entsorgung jeglicher gefährlich eingestufte Abfälle, so auch teerbelasteter Dachpappen, sind die länderspezifischen Vorgaben einzuhalten. Einen zusammenfassenden Überblick, in welchen Bundesländern Überlassungs- /Andienungspflichten für gefährliche Abfälle bestehen, gibt Tab. 5.6.

Seit dem 01.06.2005 dürfen gemäß der „Technischen Anleitung Siedlungsabfälle“ (TASi) keine unbehandelten Siedlungsabfälle mehr auf Deponien abgelagert werden. Daraus folgt, dass weder bitumen- noch teerhaltige Dachbahnen, aufgrund ihres Anteils an organischem Kohlenstoff, deponiert werden dürfen.¹⁹³

Da Dachbahnen einen relativ hohen Heizwert von ca. 20.000 kJ/kg¹⁹⁴ aufweisen, eignen sie sich grundsätzlich zur thermischen Verwertung in dafür zugelassenen Anlagen (z. B. als Ersatzbrennstoff in Zement- oder Kohlekraftwerken).

Eine Voraussetzung, die die Anlage zur energetischen Verwertung teerhaltiger Materialien aufweisen muss, ist die Sicherstellung der Zerstörung der in den Dachbahnen enthaltenen organischen Schadstoffe.

Da Teerpappe auch in Rollen oder großen Stücken anfallen kann, wird eine Aufbereitung in speziell zugelassenen Vorbehandlungsanlagen erforderlich, bevor es der Verbrennungsanlage zugeführt werden kann.¹⁹⁵

¹⁹¹ TgV – Transportgenehmigungsverordnung vom 10. September 1996 (BGBl. I S. 1411, ber., Inkrafttreten 19.07.2007 S. 1462)

¹⁹² Klug, Markus; Stettinisch, Markus; Henzel, Harald: Umgang mit teerhaltigen Materialien im Hochbau, PAK-Handlungsanleitung, November 2007

¹⁹³ vgl. Informationen rund um die Entsorgung von bituminösen und teerhaltigen Dachbahnen, SAM (Sonderabfall-Management-Gesellschaft Rheinland-Pfalz mbH) aktuell, 7. Jahrgang Nr. 5/2008, S. 1 f.

¹⁹⁴ Bayerisches Landesamt für Umwelt, Abfallratgeber, Juni 2007 weist für Dachbahnen einen Heizwert von 20.000 bis 25.000 kJ/kg aus.

¹⁹⁵ s. z. B. Entsorgungsanlagen in Brandenburg / Berlin für den Abfall „Teerhaltige Dachpappenabfälle“, Stand 23.10.2008, hrsg. von der SBB

Die Aufbereitung der Dachpappen erfolgt in Vorbereitung der energetischen oder stofflichen Verwertung i. d. R. nach folgenden Schritten:¹⁹⁶

- Sortierung bzw. Abtrennen von anhaftenden Fremdstoffen (z. B. Holz, Metalle, Isoliermaterial),
- Zerkleinerung,
- Klassierung (in erforderliche Korngrößen entsprechend der Verwertung),
- Konditionierung.

Stofflich verwertet werden können teer- und bitumenhaltige Dachbahnen zur Herstellung von Asphalt im Kaltmischgut. Für den Einsatz in einem Heißmischverfahren sind nur bitumenhaltige Dachbahnen zulässig.

5.5 Resümee zum Stand der Entsorgung hauptsächlich verbauter schadstoffbelasteter Materialien in Plattenbauten

In der DDR kamen im industriellen Wohnungsbau v. a. asbesthaltige Zementprodukte, KMF als Dämmstoffprodukte und teerhaltige Dachpappen zum Einsatz. Nach heutigem Erkenntnisstand sind sie als Schadstoffe eingestuft, beeinträchtigen oder schädigen die menschliche Gesundheit und die Umwelt bei nicht fachgerechtem Rückbau und nicht ordnungsgemäßer Entsorgung.

In den vergangenen Jahren hat der Gesetzgeber Regelwerke erlassen, mit denen Herstellungs-, Anwendungs- und Entsorgungsverbote oder –beschränkungen festgeschrieben wurden. Eine Fülle von Vorschriften bildet seither den gesetzlichen Rahmen für die Verfahrensweise beim Umgang und bei der Entsorgung dieser schadstoffbelasteten Baumaterialien und –produkte. Daneben sind die spezifischen Regelungen der Länder für die Entsorgung der gefährlichen Abfälle maßgebend (s. Tab. 5.6).

Für asbesthaltige Abfälle wurden eine Reihe von Behandlungsverfahren entwickelt und erprobt, bei denen die gesundheitsgefährdende Asbestfaserstruktur zerstört und faserfreie Produkte erzeugt wurden. Eine großtechnische Umsetzung konnte sich jedoch bisher aus wirtschaftlichen Gründen nicht am Markt etablieren. Aber in Anbetracht der für den nächsten Dekaden in Größenordnungen prognostizierten asbesthaltigen Abfallmengen sowie der zunehmend restriktiven Ablagerungsmöglichkeiten (sich verringernde Ablagerungskapazitäten) sollten die existierenden Entwicklungen nochmals auf den „Prüfstand“. Dabei ist zu beachten, dass nur energieeinspararme und volumenreduzierende Behandlungsverfahren zukünftig eine Chance haben werden.

Außerdem sind die grundlegenden Erkenntnisse zur Verwertung der anfallenden faserfreien Ausgangsprodukte (Sekundärrohstoffe) durch weitergehende Forschungen zu modifizieren, um aus Abfällen wieder Rohstoffquellen werden zu lassen.

Auch KMF-Abfälle werden derzeit überwiegend deponiert. Nur ein einziges umweltverträgliches Verwertungsverfahren existiert gegenwärtig in Deutschland. Der Ausbau von dezentralen Standorten für Verwertungsverfahren sollte auch von politischer Seite unterstützt werden. Inwiefern die Multi-Mode-

¹⁹⁶ Teer- / bitumenhaltige Dachbahnen, Abfallratgeber, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Juni 2007, S. 3

Mikrowellentechnologie zum Wool.rec.-Verfahren eine Alternative sein kann, bleibt abzuwarten bis die Forschungsergebnisse Praxisreife erreicht haben.

Tab. 5.6: Länderregelungen zur Überlassungs- / Andienungspflicht für gefährliche Abfälle zur Entsorgung (Beseitigung und Verwertung) ¹⁹⁷

Bundesland	Überlassungs- / Andienungspflicht für gefährliche Abfälle zur	
	Beseitigung	Verwertung
Baden-Württemberg	✓	✗
Bayern	✓	✗
Berlin	✓	✗
Brandenburg	✓	✗
Bremen	✗	✗
Hamburg	✓	✗
Hessen	✓	✗
Mecklenburg-Vorpommern	✗	✗
Niedersachsen	✓	✗
Nordrhein-Westfalen	✗	✗
Rheinland-Pfalz	✓	✓
Saarland	✗	✗
Sachsen	✗	✗
Sachsen-Anhalt	✗	✗
Thüringen	✗	✗
Schleswig-Holstein	✓ *)	✗
*) Nur Abfälle, die nach der Sonderabfall-Verbrennungsverordnung vom 13.11.2006 der Sonderabfallverbrennungsanlage GmbH (SAVA) in Brunsbüttel anzudienen sind.		

Unter der Maßgabe der neuen TASI und aufgrund des hohen Heizwertes von teerhaltigen Dachpap-pen, ist ihre thermische Verwertung nicht in Frage gestellt, sondern gibt den Stand der Technik wie-der.

¹⁹⁷ Arbeitsgemeinschaft der Sonderabfall- Entsorgungs-Gesellschaften der Länder (AGS); www.info-ags.de/andienung.html aufgerufen am 27.01.2009

Nachstehende Tabelle fasst den gegenwärtigen Stand der Entsorgung und zum Forschungsbedarf überblicksmäßig zusammen.

Tab. 5.7: Einordnung der Abfälle in die AVV mit Hinweisen zur Entsorgung und zum Forschungsbedarf

Abfall- bezeichnung	AVV-Nr.	AVV- Bezeichnung	Nachweis- pflicht	Entsorgung(-spfade)			Fo- Bedarf
				Behandlung	Verwertung	Deponierung	
Asbest	170601*	Dämmmaterial, das Asbest enthält	+	(+)	(+)	++	+
	170605*	asbesthaltige Baustoffe					
KMF	170603*	anderes Dämmmaterial, das aus gefähr- lichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält	+	+	+	++	+
Teerhaltige Dachbahnen	170303*	Kohlenteer und teerhaltige Produkte	+	+	++ ther- misch	-	
	170301*	Kohlenteerhal- tige Bitumengemsi- che			+ rohstoff- lich		

() entwickelt und erprobt

+ ja

++ überwiegend

- nein aufgrund des hohen organischen Anteils in der Originalsubstanz und des hohen Brennwertes

6 Qualitätsmerkmale gebrauchter Betonelemente

Zur Wieder- und/oder Weiterverwendung schon einmal in Nutzung gewesener Betonelemente benötigt man die Kenntnis derer Qualitätsparameter. Ergebnisse resp. Zwischenergebnisse wurden kontinuierlich veröffentlicht in [4], [5], [7], [25], [33], [35], [41], [43], [49], [50], [53], [55], [56], [58]. Nachfolgend wird darauf, insbesondere auf [55], Bezug genommen.

6.1 Untersuchtes Elementesortiment

Mehrfach untersucht wurde das in verschiedenen Ausführungsvarianten hauptsächlich verbaute Elementesortiment:

Deckenplatten (DP), tragende Innenwände (IW) und Außenwände (AW); sowie punktuell Dachkassettentplatten und Badzellen der in Wandbauweise errichteten Wohnbautypen¹⁹⁸

- WBS 70, P2, PN36-NO, WBR Erfurt (Laststufe 5,0 t/6,3 t),
- IW 72 (Streifenbauweise; 2,0 t),
- IW 64 (Blockbauweise; 0,8 t).

Des Weiteren wurden Decken, Innen- und Außenwände, Stützen, Riegel und Rahmen von in Mischbauweise errichteten Bauten analysiert:

- Schulgebäude vom Typ „Dresden“,
- Kindergärten in LGBW (Leichte Geschossbauweise; 3,0 t).

Aufgrund des hohen Anteils der Bauserien WBS 70 (644.900 WE) und P2 (363.600 WE)¹⁹⁹ (s. Kap. 2, Tab. 2.1) am Bestand industriell hergestellter Wohnbauten der DDR wird nachfolgend exemplarisch auf diese eingegangen. Die grundlegenden geometrischen Kennwerte der analysierten Hauptelemente DP, IW und AW der Wohnungsbauserien P2 und WBS 70 lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Tab. 6.1: Geometrische Kennwerte der Außenwandelemente der Wohnungsbauserien WBS 70 und P2

Außenwände (AW)	Länge [m]	Höhe [m]	Dicke [mm]
WBS 70 Längs- und Giebelwände	1,460	2,865	230, 260, 300
	1,975		
	3,580		
	5,115		
	5,845		
	5,980		
	etc.		
P2 Längs- und Giebelwände	1,867	2,345	240
	3,585	2,845	290
	3,750		
	3,887		
	5,985		

¹⁹⁸ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Thomas, Cynthia: Schlussbericht Forschungsvorhaben „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“, Teil 1 Krangeführter Rückbau, 2008, S. 23 ff.

¹⁹⁹ In der DDR am häufigsten gebaute Plattenbautypen (Stand 1990): WBS 70: 644.900 Wohnungen; P2: 363.600 Wohnungen [IEMB 1992]

Aus der Übersicht ist ablesbar, dass die Außenwände der WBS 70 in ihrer Länge und Dicke variieren. Die Höhe der Außenwände beläuft sich einheitlich auf 2,865 m.

Auch die geometrischen Maße der Außenwände beim P2-Typ differieren. Die Dicke der P2-Außenwände variiert zwischen 240 und 290 mm. Die Höhe der Außenwände der Normalgeschosse ist mit 2,845 m kongruent.

Tab. 6.2: Geometrische Kennwerte der Innenwandelemente der Wohnungsbauserien WBS 70 und P2

Innenwände (IW)	Länge [m]	Höhe [m]	Dicke [mm]
WBS 70	3,580	2,630	150
	4,610		
	5,810		
	3,580	2,620	
	4,780		
	5,980		
P2	3,580	2,785	150
	3,410		
	4,095		
	5,460	2,635	
	3,580		

Die Dicke der Innenwände beider Gebäudeserien ist konform und beträgt 150 mm. Die Parameter Höhe und Länge der Innenwände in den Normalgeschossen variieren je nach Einbaulage.

Tab. 6.3: Geometrische Kennwerte der Deckenelemente der Wohnungsbauserien WBS 70 und P2

Decken (DP)	Länge [m]	Breite [m]	Dicke [mm]
WBS 70	5,980	2,980	140
	5,970	1,785	
P2	5,970	1,785	
	4,170		
	3,570		
	2,370		

Die Deckenplatten sind – unabhängig vom Gebäudetyp der Großtafelbauweise – mit 14 cm identisch in ihren Dicken. In der WBS 70 wurden zwei verschiedene Deckenbreiten 3,00 m und 1,80 m, 6,00 m (Systemmaße) lang verbaut. Im P2-Typ weisen die Deckenplatten mit 1,80 m (Systemmaß) einheitliche Breiten auf. In der Länge variieren sie; 6,00 m lange Decken sind generell in Spannbeton ausgeführt.

Folglich wird es für Wieder- und Weiterverwendungen erforderlich, die geometrischen Parameter der Betonelemente objektspezifisch zu erfassen.

Von Vorteil ist, die zur Wieder- oder Weiterverwendung geeigneten vorgesehenen Betonelemente bereits im eingebauten Zustand zu kennzeichnen und zu listen. Als Arbeitshilfe dienen hierbei die

erarbeiteten Elementekataloge zu den Elementesortimenten des Typs P2 und der WBS 70²⁰⁰, herausgegeben von der Autorin.

Anmerkung:

Das Elementesortiment des in Mischbauweise errichteten Schulgebäudes vom Typ „Dresden“ unterscheidet sich prinzipiell von dem der in Wandbauweise errichteten Wohnbauten. In dieser Baureihe sind über 70 verschiedene Bauteile verbaut. Die Deckenplatten sind als Hohlraumdecken mit L x B x H von bspw. 7,20 m oder 6,00 m x 0,60 m x 0,25 m (Systemmaße) und die Innenwandblöcke in den Abmaßen L x D x H: 1,20 m x 0,32 m x 3,05 m ausgebildet.

6.2 Qualitätsmerkmale gebrauchter Betonelemente

6.2.1 Betontechnische Merkmale

6.2.1.1 Betondruckfestigkeitsklassen, Expositionsklassen

Der Beton als tragender Baustoff ist aufgrund seines günstigen Festigkeitsverhaltens, insbesondere unter Druckspannungen, bedeutend. Entsprechend der Druckfestigkeit wird der Beton in Festigkeitsklassen eingeteilt (vgl. Tab. 6.4).²⁰¹

Tab. 6.4: Übersicht über die Betonfestigkeitsklassen nach TGL, DIN und DIN EN²⁰²

	Regelwerke	Betongüte / Druckfestigkeitsklassen für Normal- und Schwerbeton										
in BRD	DIN EN 206-1: 2001-07 / DIN 1045-2: 2001-07	C 8/10			C 8/10		C 12/15		C 16/20		C 20/25	C 25/30
	DIN 1045: 1977 / DIN 1045:1988- 07	B 5			B 10		B 15				B 25	
in DDR	TGL 33412/01 nach 1980	Bk 5	Bk 7,5		Bk 10		Bk 15		Bk 20		Bk 25	Bk 30
	TGL 0-1045 vor 1980			B 80		B 120		B 160		B 225		B 300

	Regelwerke	Betongüte / Druckfestigkeitsklassen für Normal- und Schwerbeton										
in BRD	DIN EN 206-1: 2001-07 / DIN 1045-2: 2001- 07	C 30/37			C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60	C 55/67*		... C 100/115	
	DIN 1045: 1977 / DIN 1045:1988-07	B 35			B 45		B 55		B 65*			
in DDR	TGL 33412/01 nach 1980	Bk 35		Bk 40	Bk 45	Bk 50	Bk 55	Bk 60				
	TGL 0-1045 vor 1980				B 450			B 600				

Regelung für die Übergangszeit zwischen alter und neuer Norm DIN 1045, *hochfester Beton

²⁰⁰ Mettke, Angelika (Hrsg.) Elementekatalog, Übersicht: Elementesortiment des Typs P2, 2003; Mettke, Angelika (Hrsg.) Elementekatalog, Übersicht: Elementesortiment des Typs WBS 70 am Beispiel Gebäudetyp WBS 70/11, 2007

²⁰¹ Mit der DIN EN 206-1 und der DIN 1045 aus 2001 wurden u.a. neue Betonklassen eingeführt. Im Gegensatz zur DIN 1045 aus 1988 (Druckfestigkeitsbestimmung an Würfeln mit 20 cm Kantenlänge) werden die Betone mit einer charakteristischen Zylinderdruckfestigkeit (erster Wert) und einer charakteristischen Würfeldruckfestigkeit (zweiter Wert) bezeichnet. Die Zylinder haben einen Durchmesser von 150 mm und sind 300 mm hoch; die Würfel haben eine Kantenlänge von 150 mm

²⁰² Auszug aus Elementekatalog; Übersicht: Elementesortiment des Typs WBS 70 am Beispiel Gebäudetyp WBS 70/11, Hrsg. Angelika Mettke, 2007

Insgesamt wurden von der FG Bauliches Recycling rund 1.200 Betonelemente, vornehmlich zerstörungsfrei mittels Rückprallhammer nach Schmidt (Modell N) gemäß DIN EN 12504-2²⁰³ überprüft. Anhand von Bohrkernen²⁰⁴ wurden punktuell vergleichend die erzielten Messergebnisse übereinstimmend nachgewiesen. Folgende Ergebnisse sind festzustellen (s. Tab. 6.5, Abb. 6.1).

Tab. 6.5: Vergleich der projektierten mit den ermittelten Betondruckfestigkeitsklassen an Deckenplatten und Innenwänden vom Gebäudetyp P2 und WBS 70

Anforderungen/ Messergebnisse	Betondruckfestigkeitsklasse (Unterstrich bedeutet überwiegend hergestellte Festigkeitsklasse)			
	Deckenplatten (DP)		Innenwände (IW)	
	P2	WBS 70	P2	WBS 70
Anforderungen: - lt. Projektierung Betongüte gemäß TGL 0-1045: 1973-04 (frühere Bezeichnung) Betonklasse BK (TGL 33403: 1980-10) entspr. Festigkeitsklasse nach DIN EN 206-1: 2001-07 - lt. DIN 4227-1, Abschnitt 3.1.2 entspr. Festigkeitsklasse nach DIN EN 206-1 bzw. lt. DIN 1045-1: Abschnitt 6.2 (3)	a) B 225 schlaff bewehrt b) B 300 vorgespannt a) C 16/20 schlaff bewehrt b) C 25/30 vorgespannt B 35 C 30/37	BK 25 vorgespannt C 20/25 B 35 C 30/37	<u>B 160</u> / B 225 <u>C 12/15</u> / C 16/20	BK 25 C 20/25
Untersuchungsergebnisse: (statistische Auswertung nach DIN 1048-2) in Klammern () Anzahl der untersuchten Elemente	a) C 20/25 (77) schlaff bewehrt b) C 30/37 (83) vorgespannt	C 50/60 (160) vorgespannt	C 20/25 (172)	C 20/25 (126)
Bewertung: Ist gegenüber Projektierung Ist gegenüber DIN 1045-1 (alt DIN 4227-1)	erfüllt a) Erhöhung um 1 Klasse b) erfüllt	erfüllt Erhöhung um 6 Klassen Erhöhung um 4 Klassen	erfüllt Erhöhung um 1 Klasse	erfüllt gleich bleibend

TGL 0-1045: 1973-04 Bauwerke aus Stahlbeton, Projektierung und Ausführung

TGL 33403: 1980-10 Betonbau; Festigkeits- und Formänderungskennwerte

DIN 4227-1: 1988-07 Spannbeton, Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter und voller Vorspannung

DIN EN 206-1: 2001-07 Beton, Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität / DIN 1045-02: 2001-07

Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1

DIN 1048-2: 1991-06 Prüfverfahren für Beton; Festbeton in Bauwerken und Bauteilen

DIN 1045-1: 2001-07 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Bemessung und Konstruktion

²⁰³ DIN EN 12504-2: 2001-12 Prüfung von Beton in Bauwerken, Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung; Bestimmung der Rückprallzahl

²⁰⁴ DIN EN 12504-1: 2000-09 Prüfung von Beton in Bauwerken, Teil 1: Bohrkernproben; Herstellung, Untersuchung und Prüfung unter Druck; DIN 1048-2: 1991-06, Teil 2: Prüfverfahren für Beton, Festbeton in Bauwerken und Bauteilen

Ergebnisdiskussion zum Parameter Druckfestigkeit (vgl. Tab. 6.5)

Generell ist festzuhalten, dass sich die Druckfestigkeit der Betonelemente mit zunehmendem Alter i. d. R. erhöht hat. Dies gilt uneingeschränkt für die erzielten Ergebnisse an 172 gemessenen Innenwänden vom P2-Typ, an 243 überprüften Spannbetondecken vom Typ WBS 70 und P2 sowie an 77 kontrollierten, schlaff bewehrten Deckenplatten vom P2-Typ. Die geprüften 126 IW der WBS 70 bestätigen die projektierte Betonfestigkeitsklasse.

• WBS 70

Die statistische Auswertung nach DIN 1048-2 von 160 Messreihen des geprüften Deckenplatten-Sortiments nach DIN EN 12504-1 und 2 belegt, dass die Druckfestigkeiten deutlich über den Anforderungen der Projektierungsunterlagen liegen. Gemäß Projektierung sind die Spannbetondeckenplatten in BK 25 bzw. B 25 resp. C 20/25 hergestellt worden. Nach DIN 1045-1, Abschnitt 6.2, Ersatz für 4227-1, Abschnitt 3.1.2 besteht die Forderung, dass Spannbeton mit sofortigem Verbund mindestens in C 30/37 herzustellen ist. Die Auswertung der Messdaten des geprüften 15-30 Jahre alten Deckensortiments der WBS 70 weist einen C 50/60 auf. Dies entspricht einer 4-fachen Erhöhung gegenüber der Mindestanforderung gemäß gültiger DIN. Die stichprobenmäßig durchgeführten Analysen zur Betondruckfestigkeit anhand von Bohrkernen bestätigen diese erzielten Ergebnisse mittels Rückprallhammerprüfung.

Die statistische Auswertung von 126 Messreihen an tragenden Innenwänden der WBS 70 bestätigen, dass die Festigkeitsklasse C 20/25 sicher erreicht wird. Nachstehende grafische Darstellung der Verteilung der Messdaten im Häufigkeitsdiagramm (s. Abb. 6.1)²⁰⁵ weisen auf eine Normalverteilung (Gaußsche Glockenkurve) hin. Das Ergebnis lässt sich demzufolge für das hier (auszugsweise aufgezeigte) geprüfte Elementesortiment wie folgt zusammenfassen:

Die Festigkeitsklasse beträgt für

- Spannbetondecken C 50/60,
- tragende Innenwände C 20/25.

• P2

Im Vergleich zum geprüften WBS 70-Sortiment streuen die Messwerte der geprüften P2-Betonelemente etwas. Maßgeblich dafür verantwortlich sind die Untersuchungen an einem Wohnblock in Weißwasser. An anderen Untersuchungsstandorten wurden solche Schwankungen nicht registriert. Dennoch ist eine Normalverteilung der Messwerte errechnet. Untersucht wurden 77 schlaff bewehrte, 83 vorgespannte Deckenplatten und 172 Innenwände. Das geprüfte Elementesortiment – ausgenommen die Decken in dem geprüften Gebäude in Weißwasser – erfüllt folgende Festigkeitsklassen:

- schlaff bewehrte Decken C 20/25,
- Spannbetondecken C 30/37,
- tragende Innenwände C 20/25 (vgl. Abb. 6.1).

²⁰⁵ Nach Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest wird in allen Fällen die Hypothese „Normalverteilung liegt vor“ nicht abgelehnt.

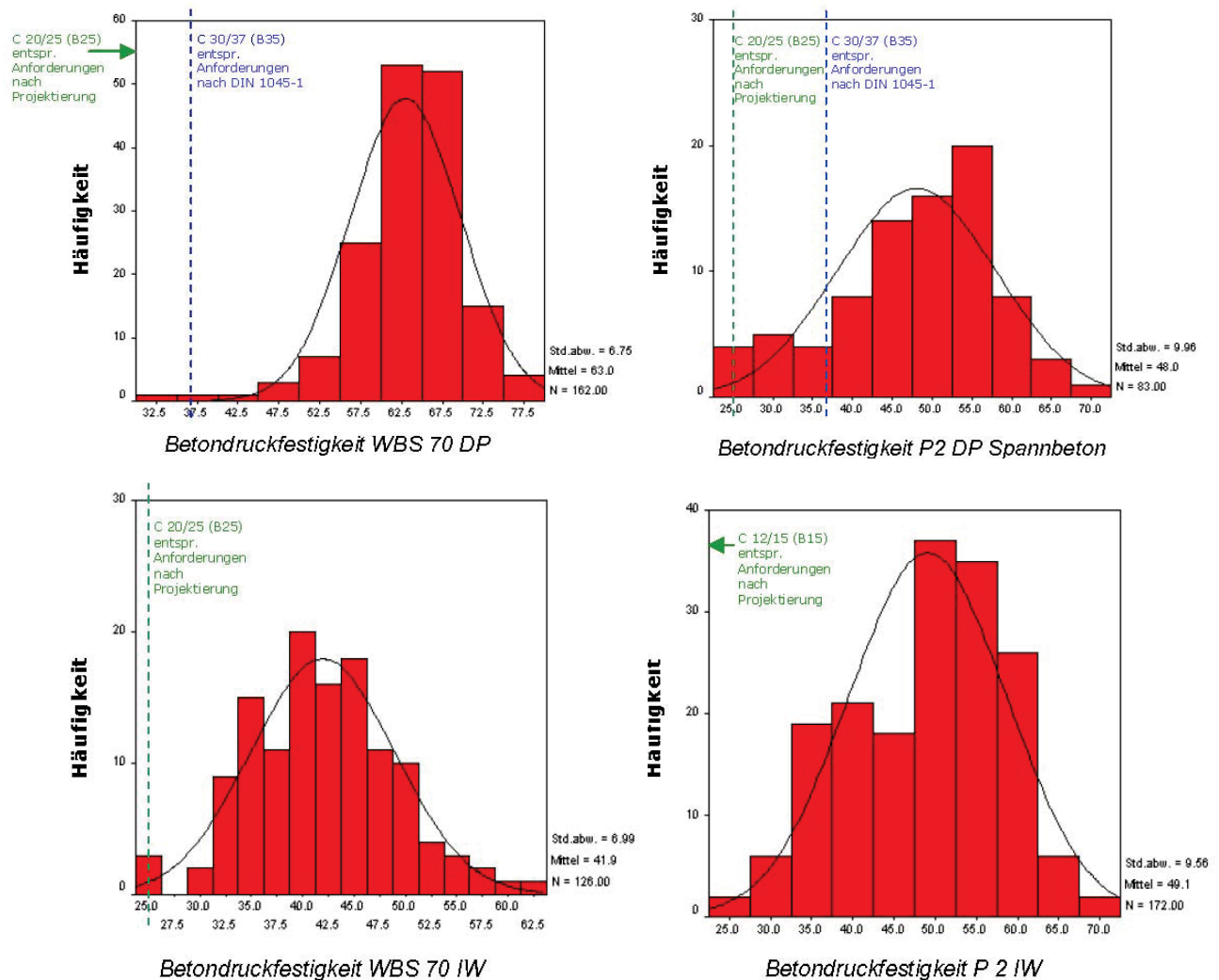


Abb. 6.1: Vergleich der projektierten mit den ermittelten Betondruckfestigkeiten von Deckenplatten und Innenwänden²⁰⁶ (WBS 70: Betonalter zwischen 14-23 Jahren, P2: Betonalter zwischen 21-27 Jahren)

6.2.1.2 Expositionsklassen

Der Sinn und Zweck der Expositionsklassen besteht darin, die Dauerhaftigkeit von einzelnen Betonbauteilen als auch des gesamten Bauwerks über die geplante Nutzungsdauer (i.d.R. > 50 Jahre) sicherzustellen. Bei Wohn- und Gesellschaftsbauten wird von einer 80- bis 130-jährigen Nutzungsdauer ausgegangen.²⁰⁷

Während der Nutzung sind die verbauten Betonteile je nach Einbaulage unterschiedlichen Umgebungsbedingungen ausgesetzt. Daher ist die Umgebung, in der das Bauteil verbaut wird oder ist, das wichtigste Kriterium für die Einstufung in die entsprechende Expositionsklasse. Die Expositionsklassen bestimmen die Art des Angriffes auf den Beton und die Bewehrung.

²⁰⁶ Kania, Gregor: Statistische Auswertung der ermittelten Ergebnisse von Untersuchungen zur Betondruckfestigkeit, Karbonatisierungstiefe und Betondeckung an gebrauchten Betonfertigteilen, Studienarbeit, 2006

²⁰⁷ vgl. Mettke, Angelika: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 20

Die möglichen Einwirkungen auf die Bewehrung im Beton werden durch folgende Expositionsklassen gekennzeichnet:

- XC (Carbonation) – Korrosionsgefahr, ausgelöst durch Karbonatisierung,
- XD (Deicing) – Korrosionsgefahr, ausgelöst durch Chloride aus Taumitteln,
- XS (Seawater) – Korrosionsgefahr, ausgelöst durch Chloride aus Meerwasser oder salzhaltiger Seeluft.

Die möglichen Einwirkungen auf den Baustoff Beton werden durch die Expositionsklassen:

- XF (Freezing) Beanspruchung durch Frost mit und ohne Taumittel,
- XA (Chemical Attack) Beanspruchung durch chemische Angriffe,
- XM (Mechanical Abrasion) Beanspruchung durch Verschleiß erfasst.

Der Angriffsgrad 1-4 bedeutet 1 schwach bis 4 stark. Die Festlegung der Expositionsklasse wirkt sich auf die Mindestbetongüte, die Mindestbetondeckung (vgl. Tab. 6.6) und die Begrenzung der Rissbreiten aus.

Die Expositionsklasse X0 (kein Angriffsrisiko) gilt nur für Betone ohne Bewehrung (z.B. unbewehrtes Fundament).

Beim Bau eines Wohnhauses sind bspw. gleichzeitig folgende Expositionsklassen zutreffend:

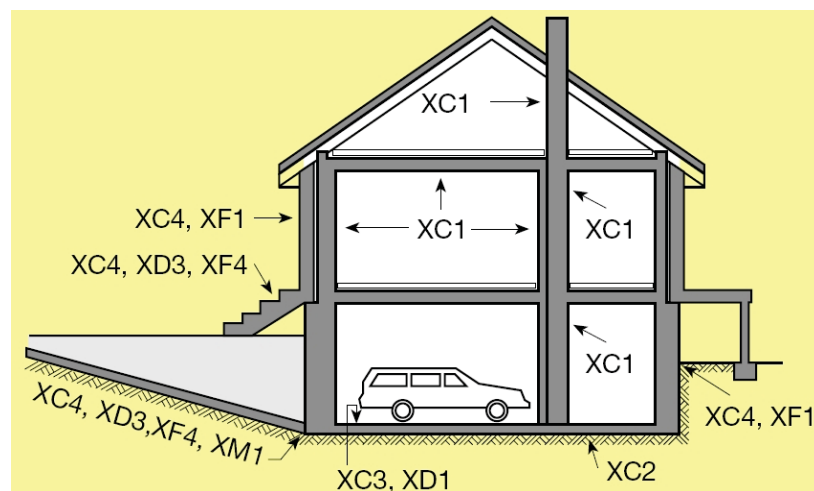


Abb. 6.2: Beispiele für mehrere, gleichzeitig zutreffende Expositionsklassen an einem Wohnhaus²⁰⁸

Die im Kapitel 6.2.1.1 dargelegten Ergebnisse der analysierten Betonfestigkeitsklassen sind den Expositionsklassen zugeordnet worden (Tab. 6.6), um zu ermitteln, welche spezifischen Umgebungsbedingungen ohne Aufarbeitungsmaßnahmen erfüllt werden.

Im Ergebnis wird festgestellt, dass die untersuchten Deckenplatten und Innenwände der WBS 70 und vom Gebäudetyp P2 die Anforderungen der Expositionsklassen XC1 bis XC3 erfüllen. Die vorgespannten Deckenplatten beider Gebäudeserien machen demnach sogar einen Einsatz ab XC4 möglich.

²⁰⁸ Zement-Merkblatt Betontechnik, B9

Tab. 6.6: Anforderungen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-1 an die Betonfestigkeitsklasse und an die Mindestbetondeckung – Bewertung der Altbetonelemente in Vorbereitung ihrer sekundären Einsetzbarkeit
[Auszug aus DIN 1045-1: 2001-07; Tab. 3, 4]

Maßgebende Expositions- klasse		Beschreibung der Umgebung	Beispiele für Zuordnung	Mindestbeton- deckung c_{\min} [mm]		Mindestdruck- festigkeits- klasse min f_{ck}	Bewertung Einsatz ge- brauchter DP und IW ohne Aufarbeitung
				Beton- stahl	Spann- glieder		
Karbonatisierungsinduzierte Bewehrungskorrosion	XC1	trocken oder ständig nass	Bauteile in Innen- räumen mit übli- cher Luftfeuchte einschließlich Küche, Bad, Gründungs- bauteile	10	20	C 16/20	DP vorge- spannt und schlaff be- wehrt, IW aus WBS 70 und P2
	XC2	nass, selten trocken	Fundamentplatte	20	30	C 16/20	
	XC3	mäßige Feuchte	Bauteile, zu de- nen die Außenluft häufig Zugang hat; vor Regen geschützter Beton im Freien	20	30	C 20/25	
	XC4	wechselnd nass und trocken	Außenbauteile mit direkter Bereg- nung	25	35	C 25/30	vorgespannte DP aus WBS 70 und P2
Chloridinduzierte Be- wehrungskorrosion	XD1	mäßige Feuchte	Betonoberflächen, die Sprühnebel ausgesetzt sind; Garagen	40	50	C 30/37	
	XD3	wechselnd nass und trocken	Bauteile im Spritzwasserbe- reich, Fahrbahndecken	40	50	C 35/45	
Betonbeanspruchung durch Frost mit und ohne Tau- mittel	XF1	wässrige Was- sersättigung ohne Taumittel	senkrechte Be- tonoberflächen, die Regen und Frost ausgesetzt sind; Außen- wände			C 25/30	
	XF 4	hohe Wasser- sättigung, mit Taumitteln	im Spritzwasser- bereich von tau- mittelbehandelten Verkehrsflächen			C 30/37	
Verschleiß	XM 1	mäßige Ver- schleißbeanspru- chung	Beanspruchung durch luftbereifte Fahrzeuge			C 30/37	

Hinsichtlich der Dauerhaftigkeit ist die Festlegung der Mindestdruckfestigkeitsklasse einzuhalten, sofern aus statischer Sicht keine höheren Anforderungen an die Druckfestigkeitsklasse gestellt werden. Aus der Forderung der Dauerhaftigkeit ist beispielsweise für Deckenplatten im Haus aus Stahl- und Spannbeton $f_{ck} \geq C 16/20$ (XC1) gefordert. Aus statischer Sicht hingegen müssen Spannbetondecken gemäß DIN 1045-1 mindestens C 30/37 aufweisen (vgl. Tab. 6.5).

Maßgebend ist demzufolge für vorgespannte Decken die Festigkeitsklasse C 30/37. Für Betonoberflächen, die mehreren Umweltbeeinflussungen ausgesetzt sind, ist die Expositionsklasse mit den höchsten Anforderungen maßgebend. Für Außenwände aus Stahlbeton im Wohnhaus (XC4, XF1) ergibt sich aus der Forderung der Dauerhaftigkeit $f_{ck} \geq C 20/25$.

Bezogen auf die Wiederverwendung zurückgebauter Deckenplatten aus Spannbeton im Hausbau bedeutet dies – auf die Umgebungsbedingungen bezogen –, dass sie sowohl als Geschossdecke als auch in der Garage als Bodenplatte oder Fundamentplatte eingesetzt werden können. Stahlbetondeckenplatten aus dem P2-Typ erfüllen unaufgearbeitet die Forderung XC1 bis XC3. Der Einsatz rückgebauter Innenwände in Innenräumen (XC1) und im Freien vor Regen geschützt (XC3) ist unter dem Aspekt der Dauerhaftigkeitsanforderungen uneingeschränkt möglich. Als Außenbauteile (XC4) können sie nur eingesetzt werden, wenn ein entsprechender Schutz (Wärmedämmung und z.B. hydrophobierende Putzschicht) hergestellt wird.

Andere Einsatzbereiche wie beispielsweise der Einsatz von gebrauchten Spannbetondecken in Umweltschutzbauten, z.B. im Deichbau, lassen folgende Möglichkeiten zu (Tab. 6.7):

Tab. 6.7: Anforderungen aus DIN EN 206-1/DIN 1045-1 an die Betonfestigkeitsklasse eingesetzter Altbetonelemente im Deichbau

Maßgebende Expositionsklasse	Einsatzort	Mindestdruckfestigkeitsklasse min f_{ck}	Einsetzbare Altbetonelemente ohne Aufarbeitung
1	2	3	4
XC2	Einsatz im Deichkörper (Oberflächendichtung, Innendichtung), nass, selten trocken	C 16/20	DP und IW aus WBS 70 und P2
XA1	Einsatz im Deichkörper (Oberflächendichtung, Innendichtung), chemisch schwach angreifende Umgebung	C 25/30	vorgespannte DP aus WBS 70 und P2
XF1 XF3 XC4	Einsatz auf Deichoberfläche (Überlauf-, Überströmstrecken) Frostangriff ohne Taumittel bei: - mäßiger Wassersättigung - hoher Wassersättigung	C 25/30	
XF4	Einsatz im Wegebau Frostangriff mit Taumittel bei hoher Wassersättigung	C 30/37	vorgespannte DP aus WBS 70
XD3	Korrosion ausgelöst durch Chloride, ausgenommen Meerwasser; wechselnd nass und trocken	C 35/45	

Daraus ergibt sich zunächst folgende Einschätzung für den Einsatz im Deichbau (vgl. Kap. 9):

Liegt keine chemisch schwach angreifende Umgebung vor, was durch Untersuchungen am Einsatzort nachgewiesen werden muss, können Deckenplatten und Innenwände aus beiden Gebäudetypen im Innern des Deichkörpers (maßgebend XC2) eingesetzt werden. Der Einsatz von Spannbetondeckenplatten aus dem Gebäudetyp WBS 70 und P2 ist im Innern des Deichkörpers auch bei schwach chemischem Angriff der Umgebung (XA1) und auf der Deichoberfläche (XC4: Bewehrungskorrosion, XF1-3: Frostangriff bei mäßiger und hoher Wassersättigung) möglich.

Für den Einsatz als Oberschicht im Wegebau eignen sich die Deckenplatten des WBS 70 und die vorgespannten Decken des P2-Typs (maßgebend XF4: Frosteinwirkung mit Taumittel und hoher Wassersättigung).

Da die DIN 1045-1 über die Mindestbetonfestigkeit hinausgehend Anforderungen an die Sicherstellung der Dauerhaftigkeit formuliert, sind weitere Kriterien zu erfüllen:

6.2.1.3 Betondeckung, Karbonatisierung

• Mindestbetondeckung

Die Mindestbetondeckung c_{\min} ist einzuhalten, um den Schutz der Bewehrung gegen Korrosion, eine sichere Übertragung von Verbundkräften und den Brandschutz zu gewährleisten. Dementsprechend werden folgende Grundforderungen an die Betondeckung erhoben:

- Mindestbetondeckung abhängig von der Expositionsklasse (Korrosionsschutz; s. Tab. 6.6, 6.7, 6.8),
- Mindestbetondeckung abhängig vom Stabdurchmesser der Betonstahlbewehrung zur sicheren Übertragung der Verbundkräfte.

Tab. 6.8: Anforderungen an die Mindestbetondeckung zum Schutz gegen Korrosion in Abhängigkeit von der Expositionsklasse [Auszug aus DIN 1045-1, Tab. 4]

Expositionsklasse	Mindestbetondeckung c_{\min} [mm]*	
	Betonstahl	Spannglieder
XC1	10	20
XC2	20	30
XC3	20	30
XC4	25	35
XD1	40	50
XD2		
XD3		

* c_{\min} darf bei Bauteilen, deren Betonfestigkeit um mind. 2 Festigkeitsklassen höher ist als nach Tab. 6.1 erforderlich, um 5 mm verringert werden. Ausnahme: für XC1 ist diese Abminderung nicht zulässig.

Die Mindestbetondeckung c_{\min} darf zudem nicht kleiner sein als der Stabdurchmesser d_s der Betonstahlbewehrung. Es gilt: $c_{\min} \geq d_s$.

Die Anforderungen an die Betondeckung aus brandschutztechnischen Gründen ergeben sich aus:

- den jeweils gültigen Landesbauordnungen (Zuordnung der Bauteile zu den Bauweisen feuerhemmend und feuerbeständig),
- der DIN 4102 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen (Zuordnung zu Feuerwiderstandsklassen)
 - feuerhemmend → F 30 – B
 - feuerbeständig → F 90 – A

und zu konstruktiven Vorgaben:

- Einhaltung von Mindestabständen zwischen der Außenkante des Bauteils und der Achslinie der tragenden Längsbewehrung,
- Mindestbauteildicken,
- Mindestanzahl von Längsbewehrungsstäben in Stahlbeton.

Die Untersuchungsergebnisse zum Feuerwiderstand sind unter Kap. 6.2.4.3 zusammengefasst.

An über 500 Elementen wurde die vorhandene Betondeckung c_{vorh} zerstörungsfrei mittels Ferroskan-System FS 10 (magnetische Bewehrungssuche) gemessen, um die Mindestbetondeckung c_{min} zu überprüfen. Die statistische Auswertung der gemessenen Daten erfolgte nach dem DBV-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung“ des Deutschen Betonvereins e.V.²⁰⁹ Durch das Messen der Betondeckung auf mehreren Messlinien konnte die Verteilung der Betondeckung ermittelt werden. Aus 10 Messwerten je Element wurde c_{vorh} abgeleitet und der Mindest- sowie durchschnittlichen Betondeckung (c_{min} bzw. $c_{i,M}$) gegenüber gestellt.

Für die Entscheidung gilt:

Tab. 6.9: Entscheidungstabelle zur Quantilbestimmung für den quantitativen Nachweis²¹⁰

Entscheidung	10% -Quantil für XC1	5% -Quantil für XC2-4
Ablehnung	$c_{\text{min}} > c$ (10%)	$c_{\text{min}} > c$ (5%)
Annahme	$c_{\text{min}} \leq c$ (10%)	$c_{\text{min}} \leq c$ (5%)

Unter Hinzuziehung der Expositionsklassen stellen sich die Messergebnisse exemplarisch wie folgt dar²¹¹:

Tab. 6.10: Zusammenstellung der Auswertung der Messergebnisse zur festgestellten/vorhandenen Betondeckung in Abhängigkeit der Expositionsklasse

Elementesortiment	Gebäudetyp	Datensätze	Erfüllung			
			XC1		XC4	
			$c_{\text{min, vorh}}$	$c_{i,M, vorh}$	$c_{\text{min, vorh}}$	$c_{i,M, vorh}$
Spannbetondeckenplatten	WBS 70	32	n.e.	V	n.e.	n.e.
	P2	52	V	V	n.e.	n.e.
Schlaff bewehrte Deckenplatten	P2	38	V	V	n.e.	n.e.
Innenwände	P2	50	V	V	n.e.	n.e.

V: erfüllt, n.e.: nicht erfüllt

Die Untersuchungen zur Betondeckung in XC1 (Einsatz im Gebäudeinneren) ergeben nach der Neville-Verteilung, dass sämtliche Elemente der P2-Gebäudeserie die Mindestbetondeckung c_{min} erfüllen. Die Spannbetondeckenplatten der WBS 70 erfüllen diese Anforderung nicht. Wird $c_{i,M, vorh.}$ zugrunde gelegt, dann wird die Bedingung erfüllt.

Die Mindestbetondeckung der Umweltklasse XC4 (Einsatz als Außenbauteil mit direkter Bewegung) wird unaufgearbeitet erwartungsgemäß von keinem der geprüften Elemente erfüllt. Dieses Zwischenfazit gilt jedoch wiederum nur bedingt, da außerdem der Karbonatisierungshorizont zu beurteilen ist, um die tatsächliche Korrosionsgefahr der Bewehrung bewerten zu können.

²⁰⁹ DBV-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung“, Fassung 07/2002, Hrsg. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Berlin

²¹⁰ Kania, Gregor: Statistische Auswertung der ermittelten Ergebnisse von Untersuchungen zur Betondruckfestigkeit, Karbonatisierungstiefe und Betondeckung an gebrauchten Betonfertigteilen, Studienarbeit, 2006

²¹¹ ausführlich siehe: Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Thomas, Cynthia: Schlussbericht Forschungsvorhaben „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“, Teil 2: Wieder- und Weiterverwendung großformatiger Betonbauteile, 2008, S. 38 ff.

• Karbonatisierung

Die Karbonatisierungsgeschwindigkeit hängt hauptsächlich ab von:

- der Art, der Konzentration und Einwirkungsintensität der angreifenden Medien (CO₂, Feuchtigkeits-, Sauerstoff- und weitere stahlaggressive Ionen wie z.B. Säuren, Laugen, Salze),
- der Porosität des Betons (v.a. Kapillarporosität),
- der Feuchtigkeit des Betons,
- der Betondruckfestigkeitsklasse,
- dem Betonalter,
- der Dicke der Betondeckung.²¹²

Die Karbonatisierungsgeschwindigkeit wird weitgehend durch den CO₂-Diffusionsvorgang bestimmt und in der Baupraxis vereinfachend nach dem \sqrt{t} -Gesetz ermittelt (vgl. Abb. 6.3). Die Karbonatisierungstiefe wurde an frischen Bruchflächen anhand von Bohrkernen mittels Phenolphthalein bestimmt. Bereits karbonatisierter Beton bleibt unverfärbt während sich der nicht karbonatisierte Beton violett verfärbt.

In nachstehender Tab. 6.11 sind wesentliche Untersuchungsergebnisse zusammengefasst, die im Rahmen der Analysen zur Wiederverwendungsfähigkeit in unserer Fachgruppe ermittelt wurden.

Tab. 6.11: Gemessene Karbonatisierungstiefen²¹³

Elementesortiment		Betonalter [Jahre]	Anzahl der Mess- werte	Karbonatisierungstiefe [mm] gemessen		
				Minimalwert	Durchschnittswert	Maximalwert
Spannbetondecken	WBS 70	20-22	26	0	2	18
	P2	23	14	0	0	0
Innenwände	WBS 70	21	13	0	2	8
	P2	23	9	0	0	0
Außenwände	WBS 70	18-21	5	0	5	10
	P2	23	21	0	12	30

Damit wurde nachgewiesen, dass bei den untersuchten Spannbetondecken und den Innenwänden vom Typ P2 selbst bei einem Baualter von 23 Jahren noch keine Betonumwandlung stattgefunden hat. Bei den untersuchten Spannbetondecken der WBS 70 ist eine Karbonatisierungstiefe im Mittel von 2 mm festgestellt worden.

²¹² Mettke, Angelika: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 100

²¹³ ausführlich siehe: Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Thomas, Cynthia: Schlussbericht Forschungsvorhaben „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“, Teil 2: Wieder- und Weiterverwendung großformatiger Betonbauteile, 2008, S. 32 ff.

Der gemessene Maximalwert von 18 mm ist als statistischer Ausreißer zu werten, da nur eine Deckenplatte diesen Wert aufwies. Die grafische Darstellung der Karbonatisierungstiefe ist exemplarisch für die Deckenplatten und Innenwände der WBS 70 nachfolgender Abb. 6.3 entnehmbar.

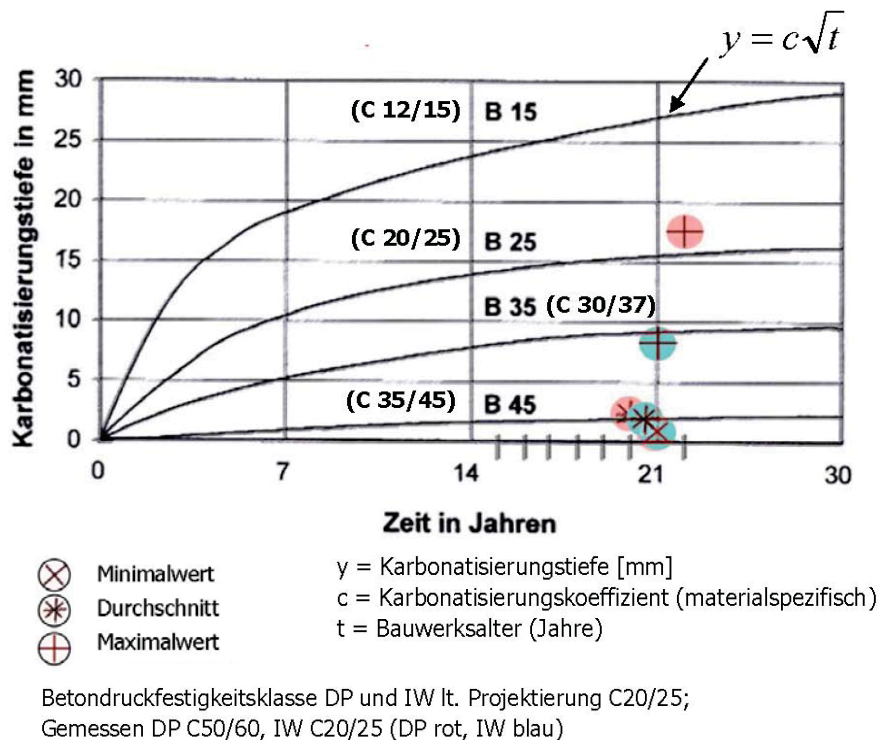


Abb. 6.3: Ermittelte Karbonatisierungstiefe an 26 Spannbetondecken und 13 Innenwänden der WBS 70

Die 23 Jahre alten Außenwände der P2-Serie weisen im Mittel eine Karbonatisierungstiefe von 12 mm auf und liegen damit deutlich unter den prognostizierten Karbonatisierungshorizonten nach dem \sqrt{t} -Gesetz und in Abhängigkeit der projizierten Betondruckfestigkeitsklasse (rd. 27 mm).

Zusammenfassend wird zur Karbonatisierung festgestellt, dass bei allen 78 untersuchten 18 bis 23 Jahre alten Bauteilen – bis auf eine Geschossdecke – der Schutz der Bewehrung vor Korrosion gegeben ist. Da mit zunehmendem Baualter die Karbonatisierung nur noch unmerklich fortschreitet und praktisch einen Endwert erreicht (vgl. Abb. 6.3), ist davon auszugehen, dass bei gleich bleibenden Umweltbedingungen in der Sekundärnutzung im Vergleich zur Primärnutzung ein ausreichender Korrosionsschutz besteht.

Auch die hohe Dichte der alten Spannbetondeckenplatten (s. Tab. 6.5 - nachgewiesene Betondruckfestigkeitsklassen sowie Feststellung der geringen Porosität, Kap. 6.2.1.4) – und infolge der zunehmenden Verdichtung des Betons selbst durch den Karbonatisierungsprozess – lässt keinen weiteren Karbonatisierungsfortschritt erwarten. Der Fortschritt der Karbonatisierung ins Bauteilinnere ist praktisch zum Erliegen gekommen. Unter Hinzuziehen des Zwischenfazit bezüglich der Betondeckungsmesswerte kann für die Spannbetondeckenplatten der WBS 70-Serie relativierend vermerkt werden, dass unter Zugrundelegung des Maximalwertes der gemessenen Karbonatisierungstiefe von 18 mm der Bewehrungsstahl bei einer durchschnittlichen minimalen Betondeckung von 2,3 cm immer noch

korrosionssicher eingebettet ist. Beträgt c_{\min} nur 13 bis 17 mm (an 6 von 32 gemessenen Spannbetondecken der WBS 70 festgestellt) und liegt der Extremfall 18 mm Karbonatisierungstiefe vor, dann ist eine Behandlung der Betonoberfläche erforderlich.

Werden IW und AW sekundär beim Hausbau als Außenbauteile eingesetzt (XC4; s. Kap. 6.2.1.2), so müssen sie generell bauphysikalisch ertüchtigt werden. Dadurch wird die Zufuhr von CO_2 in das Bauteil erschwert oder gestoppt.

6.2.1.4 Permeabilität, totale Porosität, Wassereindringtiefe²¹⁴

Die untersuchten 22 Jahre alten Spannbetondecken und 19 Jahre alten Innenwände vom Typ WBS 70 weisen überraschender Weise **Durchlässigkeitswerte** von $k_f = 10^{-10}$ bis 10^{-11} m/s²¹⁵ (vergleichbar mit Ton $k_f = 10^{-8}$ bis 10^{-12} m/s) auf. Somit können diese ehemals in Wohnungsbauten verbauten Platten als dicht eingestuft werden.

Die **totale Porosität** (Anteil des gesamten Porenvolumens) streut zwischen 6,5% und 15,6%; im Mittel beträgt sie 12,5%. Auch diese Werte weisen auf einen dauerhaften Beton hin, der durch eine Festbetonporosität < 16% gekennzeichnet ist.²¹⁶ Im Übrigen korrelieren diese Ergebnisse mit den ermittelten Betondruckfestigkeiten und den Ergebnissen zum Säurewiderstand.

Die **Wassereindringtiefe** liegt zwischen 1,3 cm und 2,4 cm. Damit wird nach ZTV-W gemäß DIN EN 12390-8: 2001-02²¹⁷ die angegebene Wassereindringtiefe von max. 3 cm unterschritten.

6.2.1.5 Widerstand gegen Frosteinwirkung mit und ohne Einwirkung von Taumitteln²¹⁸

Ein sekundärer Einsatz der Altbetonelemente im Außenbereich wie beispielsweise in Überlaufstrecken im Deichbau ist dem Frosteinfluss ausgesetzt. Bei einem Einbau als Oberschicht im Wegebau ist außerdem die Belastung durch Tausalze zu berücksichtigen. Gemäß DIN 1045-1 sind für solche Einsätze (Expositionsklasse XF4 für Frosteinwirkung mit Tausalzen an horizontalen Flächen) Betondruckfestigkeiten von C 30/37 erforderlich. Diese Forderung wird erfüllt (vgl. Kap. 6.2.1.2).

Zur Ermittlung des Widerstandes gegen Frost wurden 12 Bohrkerne von WBS 70-Deckenplatten (Baualter: 20 Jahre) gezogen und nach dem CIF-Verfahren bzw. CF-Verfahren geprüft.²¹⁹ Die mittlere Abwitterung nach 28 Frost-Tau-Wechseln beträgt 147,5 g/m² (zul. 1.500g/m², Mindestprüffläche 800 cm²).

²¹⁴ Untersuchungen, die von Mettke, Angelika im Rahmen des Forschungsvorhabens „Pro Altbeton im Hochwasserschutz“, gefördert vom BMBF, durchgeführt wurden; Veröffentlichung des Schlussberichtes Mettke, Angelika; Heyn, Sören: „Pro Altbeton im Hochwasserschutz“, April 2009

²¹⁵ IBeWa Wilsnack & Partner, Freiberg: Bestimmung der Flüssigkeitspermeabilität von Betonelementen, Prüfbericht i. A. Fachgruppe Bauliches Recycling vom Dezember 2004

²¹⁶ Mettke, Angelika: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 92

²¹⁷ DIN EN 12390-8: 2001-02: Prüfung von Festbeton, Teil 8: Wassereindringtiefe unter Druck und ZTV-W LB 215 - Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton, Anlage 1 Eignungsprüfungen Pkt. 3.2 Wassereindringwiderstand, Ausgabe 2004

²¹⁸ Parameter wurden von Mettke, Angelika im Rahmen des Forschungsvorhabens „Pro Altbeton im Hochwasserschutz“ durchgeführt; vgl. Schlussbericht Mettke, Angelika; Heyn, Sören: „Pro Altbeton im Hochwasserschutz“, April 2009

²¹⁹ Forschungs- und Materialprüfanstalt, FG Betontechnologie an der BTUC: Prüfung des Frost-Tau-Widerstandes nach dem CF und dem CIF-Verfahren, Prüfbericht i. A. Fachgruppe Bauliches Recycling, November 2005; CF-Test: Bestimmung der Abwitterung an der Betonoberfläche; CIF-Test: Bestimmung der inneren Schädigung mittels Ultraschalllaufzeit

Die Änderung des dynamischen E-Moduls beträgt nach 56 Frost-Tau-Wechseln 72,9%. An diesen Proben wurden umfangreiche Rissbildungen festgestellt, die auf innere Schädigungen zurückzuführen sind. Hinsichtlich des Schädigungsgrades ist der geprüfte Beton als „sehr stark geschädigt“ einzustufen.

Bei gleichzeitigem Tausalzangriff erhöhen sich die Schäden. 8 von 12 Prüfkörpern zerfielen nach 14 Frost-Tauwechseln. Der CDF-Test²²⁰ wurde nicht bestanden und damit werden die Anforderungen an einen Beton mit hohem Frost-Tausalz-Widerstand nicht erfüllt.

Das Verhalten des Altbetons gegenüber verschiedenen Säurelösungen wird im Kap. 7.5.2 erörtert.

6.2.2 Untersuchungen zur Tragfähigkeit

6.2.2.1 Bewertung der Deckenplatten aus Stahl- und Spannbeton

Der wiederholte Einsatz von Geschossdecken erfordert eine zuverlässige Beurteilung ihrer Tragfähigkeit. Rechnerische Nachweise zur Trag- und Nutzungsfähigkeit sind deshalb zum Teil zusätzlich durch experimentelle Belastungsversuche ergänzt worden.

Folgende Altbetonplatten wurden geprüft:

Tab. 6.12: Überblick über die geprüften Altbetonplatten – rechnerische und experimentelle Nachweise zur Trag- und Nutzungsfähigkeit

	Abmessungen L x B (H) x D [m] (Achismaße)	Einsatzort/ Baujahr	Elemente-Nr.
aus der Wohnungsbauserie P2:			
Spannbetondeckenelemente	6,00 x 1,80 x 0,14	Hoyerswerda und Cottbus 1971, Weiß- wasser 1973, Cott- bus 1976	22000 21000 22006
schlaff bewehrte Deckenplatten	4,20 x 1,80 x 0,14	Cottbus 1968 bis 1976	21118 21120 21119 21121
	3,60 x 1,80 x 0,14		23630 21200 23632 23631 23633
	2,40 x 1,80 x 0,14		21300
tragende Innenwandplatten	3,745 x 2,635 x 0,15	Cottbus 1970	51707 und 10 weitere
aus der Wohnungsbauserie WBS 70:			
Spannbetondeckenelemente	6,00 x 1,80 x 0,14	Dresden-Gorbitz 1980	D 410 D 413
aus der Wohnungsbauserie PN 36-NO:			
schlaff bewehrte Deckenplatten	3,60 x 2,40 x 0,14	Eggesin 1972 bzw. 1976	G 62 b/A, G 6 A
	3,60 x 2,40 x 0,10		G 81 A
Dachplatten	3,60 x 2,00 x 0,10		D 56 A
tragende Innenwände	4,81 x 2,635 x 0,15		I 77 A, I 78 A

²²⁰ Forschungs- und Materialprüfanstalt, FG Betontechnologie an der BTUC: Prüfung des Frost-Tau-Widerstandes nach dem CF und dem CIF-Verfahren, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, November 2005; CF-Test: Bestimmung der Abwitterung an der Betonoberfläche; CIF-Test: Bestimmung der inneren Schädigung mittels Ultraschalllaufzeit, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, Juli 2005

Ausgangswerte für die Nachweise

Die Spannbetondeckenplatten der Bauserien P2 und WBS 70 wurden für „teilweise Vorspannung“ (Spannbeton im Zustand II) projektiert. Die rechnerische Nachprüfung erfolgte durch SCHMIEDEHAUSEN²²¹ nach DIN 4227-1: 1988-07, Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter und voller Vorspannung, um zu untersuchen, inwieweit auch eine Einordnung der Deckenplatten für „beschränkte Vorspannung“ (Spannbeton nach Zustand I) möglich ist. Damit wird eine Einordnung in eine höhere Gebrauchswertklasse möglich.

Die experimentellen Nachweise dienen der Überprüfung des Trag- und Verformungsverhaltens von Bauteilen. Besonders bei Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen sind experimentelle Überprüfungen in Ergänzung zu rechnerischen Nachweisen vorteilhaft, weil Rissbeginn und Rissverteilung in der Betonzugzone sowie der Beginn des Stahlfließens in Abhängigkeit vom Verformungsverhalten des Bauteils besser beurteilt werden können.

Belastet wurden:

▪ **im ausgebauten Zustand/offside:**

Anzahl	Deckenplatte	Baualter [Jahre]	Elemente-Nr.	Anzahl Spanndrähte [Stck.]	Spannstahlquerschnitt [mm ²]	Ermittelte Betondruckfestigkeit an Bohrkernen
in der FMPA Cottbus						
3	Spannbetondecken P2	28	22000 2-seitig gelagert	20 St 140/160	40	C 35/45
2	Spannbetondecken P2	30	22006 2-seitig gelagert	17 St 140/160	40	C 35/45
4	Stahlbetondecken P2	30	21120 bzw. 21121 2-seitig gelagert	St A – I Ø 18, a = 18 cm oder St A – III Ø 10, a = 10 cm		C 40/50
im Otto-Mohr-Laboratorium der TU Dresden						
2	Spannbetondecke WBS 70	23	D 410 Normalplatte 2-seitig gelagert	18 St 140/160	40	C 60/75
1	Spannbetondecke WBS 70	23	D 413 Randplatte 3-seitig gelagert	14 St 140/160	40	C 55/67

▪ **im eingebauten Zustand/in situ:**

Anzahl	Deckenplatte	Baualter [Jahre]	Elemente-Nr.	Anzahl Spanndrähte [Stck.]	Spannstahlquerschnitt [mm ²]	Ermittelte Betondruckfestigkeit an Bohrkernen
3	Spannbetondecken P2	29	21000	16 St 140/160 2-seitig gelagert	40	C 25/30

²²¹ Schmiedehausen, Rudolf, Ingenieurbüro Tragwerksplanung Cottbus

Zur Zeit der Herstellung der geprüften Spannbetondeckenplatten war ein Beton der Betongüte B 300 nach TGL 11422: 1964-03²²²; entspricht nach DIN 1045: 1988-07 etwa ein B 25, nach DIN 1045-1 bzw. DIN EN 206-1: 2001-07 einer Festigkeitsklasse C 20/25. Nach DIN 4227-1: 1988-07²²³ ist für vorgespannte Betonbauteile mit sofortigem Verbund mindestens ein B 35 (C 30/37) zu verwenden. Diese Anforderung ist auch nach neuer DIN 1045 zu erfüllen.

Nach den Traglastversuchen wurden zur Bestimmung der vorhandenen Betonfestigkeiten in auflager-nahen ungestörten Bereichen Kernbohrungen mit Durchmesser rund 100 mm entnommen und nach DIN 1048-2: 1999-06²²⁴ bestimmt.

Die Druckfestigkeitsprüfungen bspw. der Deckenplatten 22000/1-3 ergeben einen Beton der Festigkeitsklasse B 45 (C 35/45), die Deckenplatten D 410/1-3 wiesen sogar Festigkeiten von 73,0 bis 83,2 N/mm² auf, die der Elementenummer 413/1-3 60,0 bis 66,9 N/mm² (entspricht C 60/75 bzw. C 55/67).

Aus diesem Grund sowie den vorangegangenen Untersuchungen (in allen Fällen wurden ausreichende Betonfestigkeiten erzielt) wurde der rechnerische Nachweis durch SCHMIEDEHAUSEN²²⁵ mit B 35 bzw. C 30/37 geführt.

Die Spannbetonplatten wurden elektrothermisch vorgespannt und mittels Schrumpfmantel-Endverankerung, ab etwa 1980 mittels Stauchkopf in der Spannform verankert. Für die nach dem Abkühlen der Spanndrähte entstehende Stahlspannung (= Spannbettspannung) wurde grundsätzlich mit $800 \text{ N/mm}^2 < 1.040 \text{ N/mm}^2$ zul. gerechnet. Der rechnerische Spannungsabfall infolge Kriechen und Schwinden ist mit $t = \infty$ eingegangen. Einzelheiten der Berechnungen sind dem Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“²²⁶ entnehmbar.

Der rechnerische Nachweis an schlaff bewehrten Deckenplatten der 1972 bzw. 1976 errichteten Wohnungsbauserie PN 36-NO erfolgte an der Geschossdecke G 62 b/A, G 6 A und der Drempelecke G 81 A (Abmaße s. Tab. 6.12). Die Elemente wurden für die Betongüteklasse B 160 und Betonstahlklasse St A-I projektiert. Für die Nachrechnung wurde B 15/BSt I angesetzt.²²⁷ Des Weiteren wurden schlaff bewehrte Deckenplatten aus der Typenserie P2 untersucht (vgl. Tab. 6.12). In Abhängigkeit vom Baujahr kamen entweder Betonstahl A-I, glatter Rundstahl oder A-III, gerippter Rundstahl, zum Einsatz. Sie wurden in B 225 lt. Projektierung hergestellt (~ C20/25). Anhand von Bohrkernen wurde bei der Druckfestigkeitsprüfung der DP 21121 ein C 40/50 festgestellt.

²²² TGL 11422: 1964-03 Bauwerke und Fertigteile aus Beton und Stahlbeton; Berechnungsgrundlagen, Traglastverfahren

²²³ DIN 4227-1; 1988-07 wurde durch DIN 1045-1: 2001-07 (verbindlich seit 01.01.2005) ersetzt. Die Anforderungen an die Betonbauteile mit sofortigem Verbund hinsichtlich der Mindestbetondruckfestigkeit sind unverändert.

²²⁴ DIN 1048-2: 1999-06 Prüfverfahren für Beton; Festbeton in Bauwerken und Bauteilen

²²⁵ Schmiedehausen, Rudolf; Ingenieurbüro Tragwerksplanung, Cottbus

²²⁶ Schmiedehausen, Rudolf: Was sind gebrauchte Betonfertigteile eigentlich heute noch wert?, in Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Hrsg. Angelika Mettke, 2005, S. 145 ff. und Gutachten: Rechnerische und experimentelle Untersuchungen für P2-Spannbetondeckenplatten 22006 und P2-Stahlbetondeckenplatten 21120 und 21121, Aug./Okt. 2006

²²⁷ Schmiedehausen, Rudolf: Rechnerische Nachweise für ausgewählte Dachplatten, Deckenplatten und Wandfertigteile von Wohngebäuden des Typs PN 36-NO, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, 2001

Die Belastung ergibt sich aus:

Tab. 6.13: Lastannahmen

Lastannahmen	22000	21000, 22006, D 410, D 413	21120, 21121	G 6 A G 62 b/A	G 81 A
Eigenlast g 14 cm Spannbeton 0,14 m x 25 kN/m ³ 14 cm Stahlbeton 0,14 m x 25 kN/m ³ 10 cm Stahlbeton 0,10 m x 25 kN/m ³	3,50 kN/m ²	3,50 kN/m ²	3,50 kN/m ²	3,50 kN/m ²	2,50 kN/m ²
zusätzliche Eigenlast g₁ Dämmschicht, Folie, Estrich, Belag Dämmschicht, Belag, Fliesen in Küche – Bad – Bereich	1,00 kN/m ²	1,00 kN/m ²	2,00 kN/m ²	1,60 kN/m ² (inkl. Putz)	0,10 kN/m ²
Gesamt g	4,50 kN/m ²	4,50 kN/m ²	5,50 kN/m ²	5,10 kN/m ²	2,60 kN/m ²
Verkehrslast p [DIN 1055-3: 1971-06] für Wohnräume mit ausreichender Querver- teilung der Lasten	1,50 kN/m ²	1,50 kN/m ²	1,50 kN/m ²	1,50 kN/m ²	1,00 kN/m ² < (Drempel bekriechbar)
Zuschlag Δp für unbe- lastete leichte Trenn- wände mit g ≤ 150 kg/m ² g ≤ 100 kg/m ² G _w (Wand quer stehend zur Tragrichtung)	1,25 kN/m ²	0,75 kN/m ²	4,66 kN/m	1,25 kN/m ² 0,75 kN/m ²	
Gesamt p	2,75 kN/m ²	2,25 kN/m ²			1,00 kN/m ²
Gesamt q	7,25 kN/m²	6,75 kN/m²	10,00 kN/m²		3,60 kN/m²
Bemessung erfolgte auf der Grundlage des Traglastverfahrens TGL 11422 (Okt. 1961 bzw. März 1964); neu DIN 1045-1: 2001-07					

6.2.2.2 Ergebnisse der rechnerischen Nachweise

Die Ergebnisse stellen sich zusammengefasst wie folgt dar²²⁸:

- **Spannbetondeckenplatten**

Tab. 6.14: Spannbetondecken – Ergebnisse der rechnerischen Nachweise zur Tragfähigkeit

	Elemente-Nr.	21000	22000	22006	D 410	$\bar{\sigma}_{b,zul.}$
	Spannstähle Anzahl	16	20	17	18	
1	Betonspannungen infolge $g + V + KS + g_1 + p$ [N/mm²]					
	in Plattenmitte					
	Druck (oben)	7,2	6,9	7,12	7,11	14
	Zug (unten)	3,69	2,6	3,25	3,2	3,5
2	Betonspannungen infolge $g + V + KS + g_1 + p + \Delta p$ [N/mm²]					
	in Plattenmitte					
	Druck (oben)	8,2	8,7	8,12	8,1	14
	Zug (unten)	4,7	4,4	4,23	4,17	3,5
3	Betonspannungen infolge $g + V$ [N/mm²]					
	am Auflager					
	Druck (unten)	4,9	6,1	5,16	5,46	17
	Zug (oben)	0,9	1,1	0,95	1,0	3,5
4	Stahlspannungen infolge Gesamtlast einschl. KS [N/mm²]					$\bar{\sigma}_{e,zul.}$
		681	671	729	684 rechn. 625 gemessen	< 880; 800

Die zulässigen Betonspannungen gelten für B 35 (C 30/37) wie messtechnisch nachgewiesen.

Die zulässigen Betonspannungen gemäß Nachweis für „beschränkte Vorspannung“ werden bei den hier untersuchten Spannbetonplatten bei voller Belastung leicht überschritten (s. Tab. 6.14, Zeile 2). Die Stahlspannungen liegen im zulässigen Bereich (s. Tab. 6.14, Zeile 4). Die Forderungen zur Sicherung der Gebrauchsfähigkeit und Dauerhaftigkeit der Platten werden durch die zusätzlich zur Spannstahlbewehrung vorhandene schlaife Rundstahlbewehrung zur Beschränkung der Rissbreiten erfüllt.

Die geringfügige Überschreitung der zulässigen Betonzugspannungen wird als nicht bedenklich eingeschätzt, da eine Wiederverwendung der Deckenplatten im Innern der Gebäude eine Korrosionsgefährdung praktisch ausschließt.

Gemäß dem Nachweis der rechnerischen Bruchsicherheit durch SCHMIEDEHAUSEN²²⁹ wurde weiter ermittelt, dass infolge der 1,75-fachen Summe aller äußeren Lasten (ohne Trennwandzuschlag) die vorhandene Bewehrung ausreicht. Wird der Trennwandzuschlag mit eingerechnet, reicht die vorhandene Bewehrung nicht ganz aus. Ausgenommen ist die 3-seitig gelagerte Platte D 413. Sie erfüllt alle Anforderungen, auch die der rechnerischen Bruchsicherheit. Die darüber hinaus geführten Zusatznachweise für Hauptspannung, rechnerische Rissbreitenbeschränkung, Spanngliedverbund, Spaltzugwirkung im Kräfteinleitungsbereich, Verankerung der Spanndrähte und Zugkraftdeckung, Nachprüfung der Freiheit von Biegezug- und Schubrisen, der Spaltzug- bzw. Stirnzugbewehrung und Plattendurchbiegung ergeben keine Einschränkungen für ihre Wiederverwendung.

²²⁸ Zusammenfassung mehrerer Gutachten von Schmiedehausen, Rudolf; Ingenieurbüro Tragwerksplanung, Cottbus

²²⁹ vgl. Schmiedehausen, Rudolf: Was sind gebrauchte Betonfertigteile eigentlich heute noch wert? In: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Hrsg. Angelika Mettke, 2005, S. 147

Diese Bewertung gilt auch für folgende Deckenplatten:

Tab. 6.15: Untersuchte Deckenplatten

Elementennummer	Spannstahl A_s [cm ²]	zul. Biegemoment M_q [kNm/Platte]
21000	6,4	49,0
22000	8,0	58,0
22001	8,0	58,0
22003	8,0	58,0
22031	8,0	58,0
22006	6,8	52,0
21009	10,0	72,0
21018	10,0	72,0
21019	10,0	72,0
21039	10,0	72,0
22007	9,2	66,0
22008	9,2	66,0
D 410	7,2	55,0

Für andere geringer bewehrte Deckenplatten muss eine Nachprüfung veranlasst werden.

• **schlaff bewehrte Deckenplatten**²³⁰

Die Untersuchungen an den Deckenplatten der Elemente-Nr. 21118, 21119, 21300, 23630, 23632, 23631, 23633 ergeben, dass die vorhandene Tragbewehrung in allen Fällen den Anforderungen nach DIN 1045-1 entsprechen. Die Deckenplatten Elemente-Nr. 21120, 21121 und 21200 erfüllen ebenfalls alle Anforderungen nach DIN 1045-1 im Falle der Verwendung von StA-III. Nur im Falle der mit Betonstahl StA-I bewehrten Platten ergibt sich für die Tragbewehrung ein Fehlbetrag von 4% bei Elemente-Nr. 21120 und 21121. Die Platte der Elemente-Nr. 21200 weist einen Fehlbetrag von 10% auf. Dies gilt jedoch nur für den ungünstigen Fall des Ansatzes von $\sigma_s = 220$ N/mm². Wird für StA-I als Streckgrenze $\sigma_s = 240$ N/mm² angesetzt, so ist die vorhandene Tragbewehrung ausreichend. Die Ergebnisse sind nachstehend tabellarisch zusammengefasst (Tab. 6.16).

Tab. 6.16: Synopse zur Tragfähigkeit von ausgewählten Stahlbetondeckenplatten nach TGL 11422 und DIN 1045-1

Deckenplatte Elemente-Nr.	Tragbewehrung ausreichend		Tragbewehrung nicht ausreichend	
	StA-III	StA-I	StA-III	StA-I
21118	X	X		
21119	X	X		
23630	X	X		
23632	X	X		
21120	X			X
21121	X			X
21200	X			
21300	X	X		
23631	X	X		
23 633	X	X		

²³⁰ vgl. Schmiedehausen, Rudolf: Was sind gebrauchte Betonfertigteile eigentlich heute noch wert? In: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Hrsg. Angelika Mettke, 2005, S. 150 f.

Nach DIN 1045-1 soll die Querbewehrung (=Verteilerbewehrung) 20% des Querschnittes der Tragbewehrung betragen. Die bei der Bauerrichtung gültige TGL 11422: 1961-10 hingegen weist aus, dass 10% ausreichend waren.

Da es sich im vorliegenden Fall um einachsige bewehrte Platten handelt, erfüllt die Querbewehrung in erster Linie konstruktive Funktionen. Deshalb sollten für die Wiederverwendung der Deckenplatten wegen der geringeren Querbewehrung keine Einschränkungen auferlegt werden.

6.2.2.3 Ergebnisse der experimentellen Überprüfung des Tragverhaltens

Die Versuche wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“ – gefördert vom BMBF – durchgeführt. In Zusammenarbeit mit Dr. Schmiedehausen, bauvorlageberechtigter beratender Ingenieur, Herrn Petke, Forschungs- und Materialprüfanstalt (FMPA) der BTU Cottbus und beratend durch Dr. Jonigkeit, Prüfingenieur, werden hier exemplarisch die zuletzt absolvierten Traglastversuche erläutert.

In der Zeit von Juni bis September 2006 wurden zwei Spannbetonplatten und vier schlaff bewehrte Deckenplatten vom Gebäudetyp P2 im Beisein weiterer zugelassener Prüfingenieure sowie bauvorlageberechtigter Tragwerksplaner, Fachkollegen und Interessierter geprüft. Die Elemente stammen aus einem 11-geschossigen 1976 errichteten Spendergebäude aus dem Ortsteil Sachsendorf-Madlow in Cottbus. Nach einer zwei- bis fünf-monatigen Zwischenlagerung im Außenbereich der FMPA (vgl. Abb. 6.4) erfolgten die Belastungsversuche im Technikum. Die experimentelle Überprüfung des Tragverhaltens erfolgte unter anhaltsweiser Anwendung der DIN EN 1356: 1997-2. Es stand eine 1.000 kN-Prüfzylinderanlage mit elektronischer Steuerung der Genauigkeitsklasse 1 zur Verfügung (s. Abb. 6.6).

- **Spannbetondeckenplatten**

Die Eckdaten der Spannbetondeckenplatte 22006 sind der nachfolgenden Tab. 6.12 und der Abb. 6.5 zu entnehmen. Die Platte wies keine Beschädigungen auf, mit Ausnahme demontagebedingter geringfügiger Abplatzungen an den Plattenrändern (s. Abb. 6.4).



Abb. 6.4: Zwischengelagerte Deckenplatten im Außenbereich

Die Belastungsanordnung ist nachstehender Abb. 6.5 zu entnehmen:

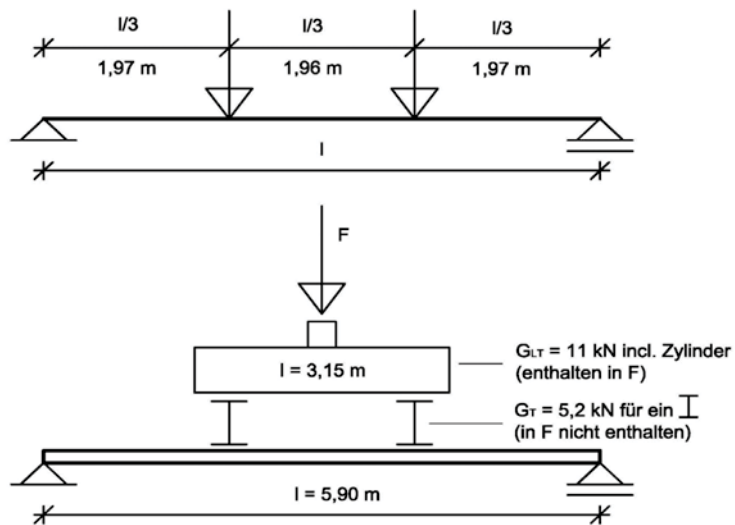


Abb. 6.5: Belastungsanordnung und Einrichtung Spannbetondeckenplatte 22006



Abb. 6.6: Versuchseinrichtung

Für die Spannbetondeckenplatte 22 006 beträgt lt. Katalog das zulässige Biegemoment

$$M_q = 52 \text{ kNm/Platte}$$

$$\text{Biegemomente } M_g = 3,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,8 \text{ m} \cdot \frac{(5,9\text{m})^2}{8} = 27,41 \text{ kNm/Platte}$$

Folglich ergibt sich

$$M_p = 52 \text{ kNm/Platte} - 27,41 \text{ kNm/Platte} = 24,59 \text{ kNm/Platte} \approx \underline{24,6 \text{ kNm/Platte}}$$

$$\text{Es wird je } F/2 = 24,59 \text{ kNm/Platte} / \frac{5,9\text{m}}{3} = 12,5 \text{ kN}$$

$$\text{Res. Kraft } F = 2 \cdot \left(\frac{F}{2} - G_T \right)$$

$$F = 2 \cdot (12,5 \text{ kN} - 5,2 \text{ kN}) = \underline{14,6 \text{ kN}}$$

Mit dem Abstand der Lasteintragungspunkte bei $1/3$ von den Auflagern resultieren zur Eintragung des Biegemoments aus Verkehrslast $M_p=24,6$ kNm/Platte die beiden Einzellasten mit $12,5$ kN. Die Eigenlast der beiden Lasteintragungsträger von je $G_T=5,2$ kN ist hierbei enthalten. Durch die Prüfzylinderanlage wird folglich die resultierende Kraft $F=2 \cdot \left(\frac{F}{2} - G_T \right)$ eingetragen. Das zulässige Biegemoment aus Verkehrslast $M_p=24,6$ kNm wird bei $F=14,6$ kN erreicht.²³¹

Die Lasteintragung wird simuliert, in dem die Kraft über eine Traverse und zwei steife Stahlprofile eingeleitet wird. Diese reichen über die gesamte Breite der Deckenplatte. Die Lage der Krafteinleitungslinien und Messstellen zur Untersuchung des Tragverhaltens ist in Abb. 6.7 wiedergegeben.

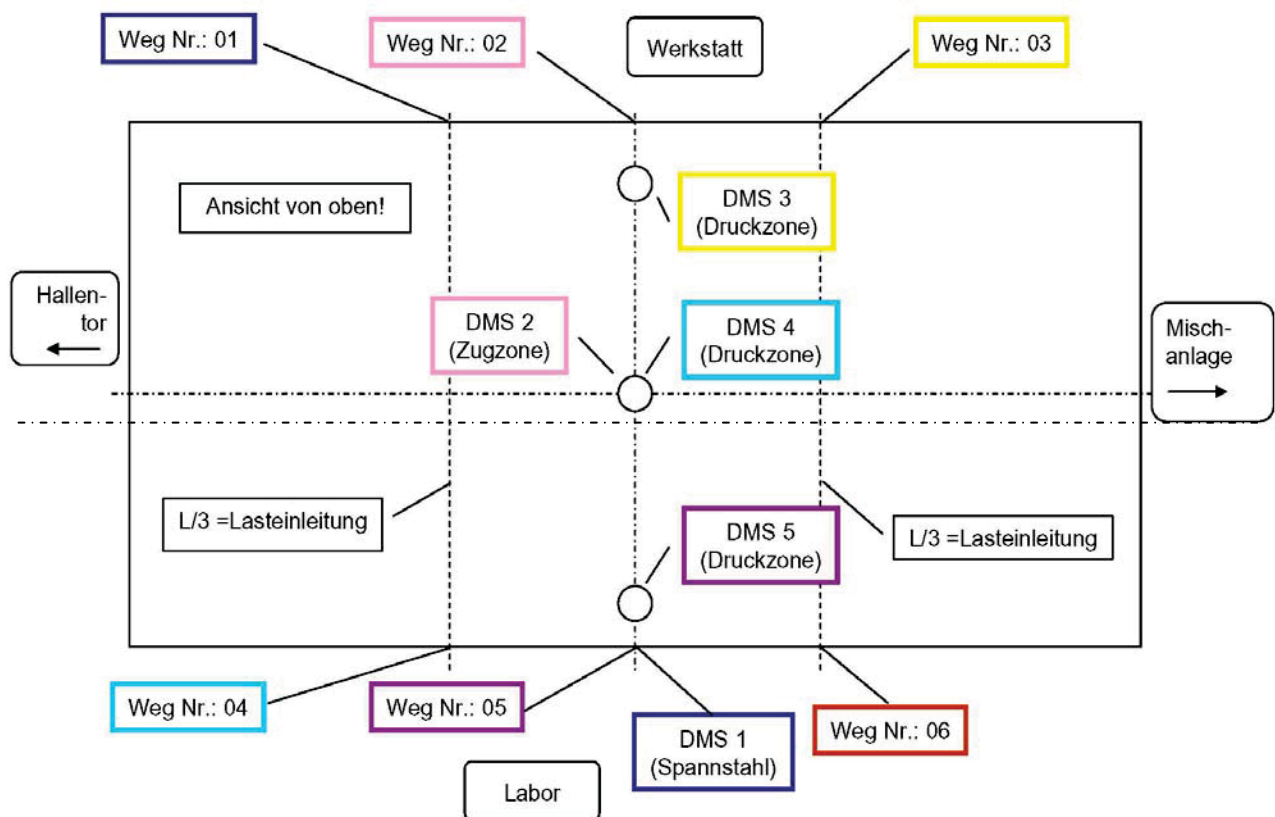


Abb. 6.7: Lage der Krafteinleitungslinien und Messstellen zur Untersuchung des Tragverhaltens

Die Durchbiegung der Platte wurde an drei Stellen je Plattenlängsrand (Weg Nr. 01 - 03 und 04 - 06) gemessen. Die Betonstauchung wurde an drei Messpunkten in Feldmitte (DMS 3 - 5) ermittelt. Zur Erfassung der Betondehnung wurde in der Zugzone der Dehnmessstreifen DMS 2 angebracht (Abb. 6.8). Etwa in Feldmitte wurde die Dehnung des Spannstahls (DMS 1) unter Lasteinwirkung erfasst. Dazu war es erforderlich, den Plattenlängsrand aufzustemmen (Abb. 6.9).

²³¹ Schmiedehausen, Rudolf: Rechnerische und experimentelle Untersuchungen für Spannbetondeckenplatten des P2-Wohnungsbaus, Elemente-Nr. 22006, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, 08.08.2006



Abb. 6.8: Dehnmessstreifen in der Zugzone

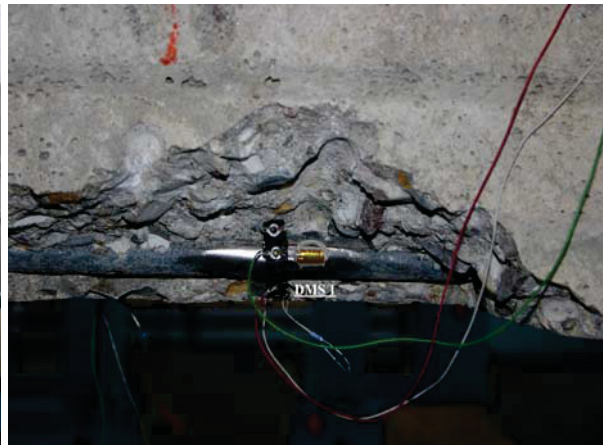


Abb. 6.9: Freigelegter Bereich zur Ermittlung der Dehnung des Spannstahls unter Lasteinwirkung

Zur Prüfung evtl. Querkraftspannungen wurden im Auflagerbereich der Deckenlängsseiten Dehnmessstreifen in Form einer Rosette geklebt (Abb. 6.10).

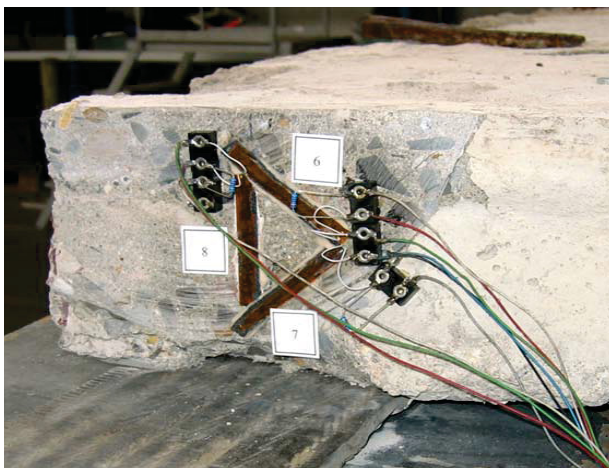


Abb. 6.10: Messung der Querkraftspannung

Durchführung der Prüfung

Aus dem Last-Zeit-Diagramm (s. Abb. 6.11) ist ersichtlich, dass auf jegliche Zwischenentlastungen verzichtet wurde. Da in vorangegangenen eigenen Untersuchungen nachgewiesen wurde, dass Spannbetondeckenplatten wegen ihres besonders günstigen elastischen Verhaltens bei Entlastung in die Ausgangslage zurückfedern, solange die vorher aufgebrachte Belastung die 1,5- bis 1,7-fache Gebrauchslast nicht überschreiten.²³²

²³² vgl. Mettke, Angelika: Rückbau von Plattenbauten – Wieder- und Weiterverwendbarkeit gebrauchter Betonbauteile, in: Holschemacher (Hrsg.) Stahlbetonplatten, 2005, S. 74 ff.; Schmiedehausen, Rudolf: Rechnerische und experimentelle Untersuchungen für Spannbetondeckenplatten des P2-Wohnungbaus, Elemente-Nr. 22006, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, 08.08.2006

Folgende Zeitintervalle wurden je Laststufe festgelegt:

- Aufbringen der Last 120 Sekunden,
- Konstanthalten der Last 180 Sekunden.

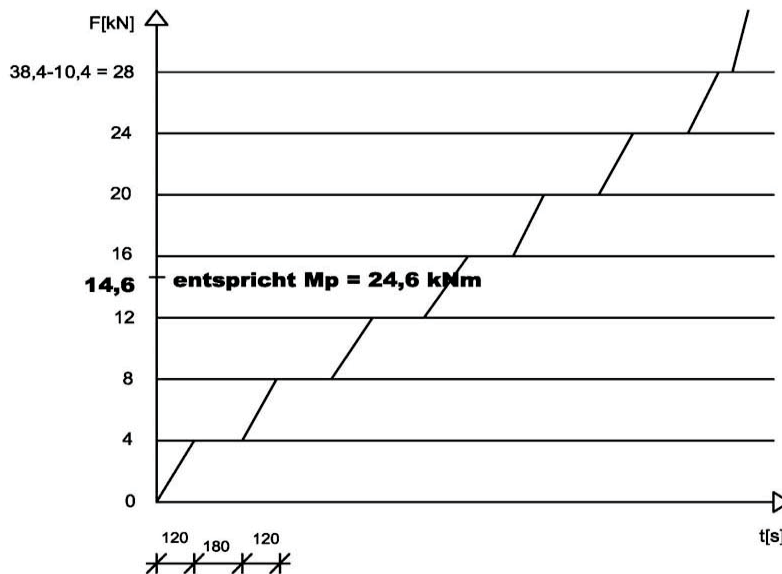


Abb. 6.11: Last-Zeit-Diagramm, anlehnend an DIN EN 1356: 1997-2

Versuchsergebnisse

Die wesentlichen Ergebnisse stellen sich anhand von zwei untersuchten Deckenplatten wie folgt dar:

- Durchbiegung

Bei den Belastungsversuchen wurde anhand der Durchbiegungsentwicklung eine nahezu lineare Abhängigkeit zwischen Last und Verformung festgestellt. Diese Proportionalität blieb bei der Spannbetondecke 1 bei Laststeigerungen etwa bis zur 1,5-fachen Gebrauchslast (s. Abb. 6.12), bei der Spannbetondeckenplatte 2 mindestens bis zur 2-fachen Gebrauchslast erhalten. Erst bei weiteren Laststeigerungen wuchsen die Verformungen überproportional.

Die rechnerisch ermittelte Durchbiegung durch SCHMIEDEHAUSEN infolge Gebrauchslast beträgt in Feldmitte näherungsweise $f \approx 6 \text{ mm}$. Die Verminderung der Vorspannung durch Kriechen und Schwinden ist hierbei berücksichtigt. Der experimentell ermittelte Wert beträgt hingegen nur $f \approx 4 \text{ mm}$.

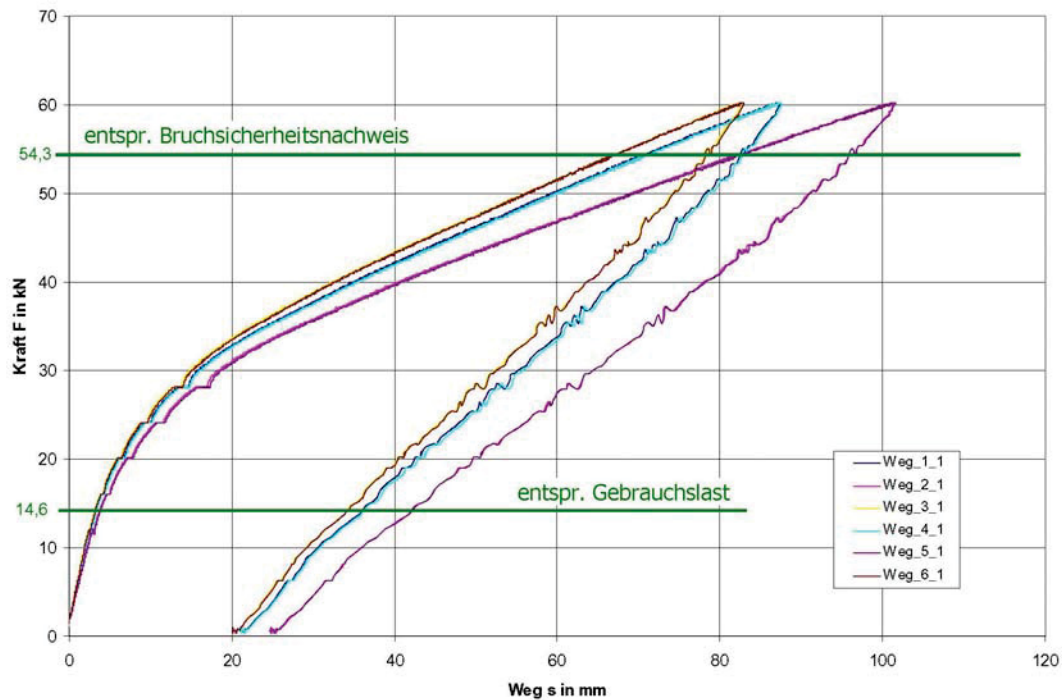


Abb. 6.12: Kraft-Weg-Diagramm Spannbetondeckenplatte 1, Elemente-Nr. 22006

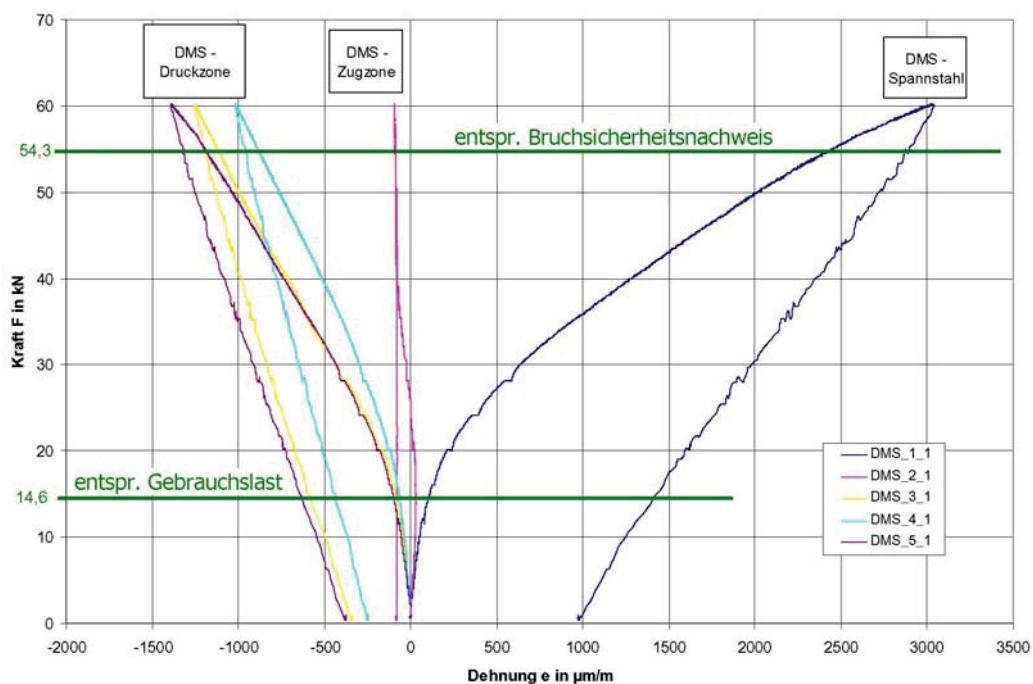


Abb. 6.13: Kraft-Dehnungs-Diagramm Spannbetondecke 1, Elemente-Nr. 22006

Ein Versagen der Platten stellte sich weder in der Betondruckzone noch durch Stahlfließen ein. Dies wird mit der das rechnerische Bruchmoment ersetzenden Prüflast $F = 54,3 \text{ kN}$ dokumentiert. Nach Entlastung reduzierten sich die bei $F = 54,3 \text{ kN}$ entstandenen Durchbiegungen auf etwa 25%. Diese Feststellung ist gleichzeitig auch Beweis für die hohe Elastizität der Spannstähle und den ausgezeichneten Haftverbund zwischen Stahl und Beton.

- Betonstauchung und Stahldehnung

Auch bei den Betonverformungen in der Druckzone ist eine nahezu lineare Abhängigkeit von der Belastung feststellbar:

- bei Spannbetondecke 1: etwa bis zur 1,5-fachen Gebrauchslast (s. Abb. 6.13),
- bei Spannbetondecke 2: mindestens bis zur 2-fachen Gebrauchslast.

Bei der Last von $F = 54,3 \text{ kN}$, die dem rechnerischen Bruchsicherheitsnachweis entspricht, beträgt die gemessene Betonstauchung maximal $1,2\text{‰}$ und ist damit wesentlich kleiner als $3,5\text{‰}$. Deshalb ist ein Versagen der Betondruckzone ausgeschlossen.

Die Betonverformungen der Betonzugzone (= Dehnungen) sind im Gebrauchslastzustand (Prüflast $F=14,6 \text{ kN}$) bei beiden Spannbetonplatten mit max. $0,1\text{‰}$ sehr gering (entspr. einer Betonzugspannung von $\sim 3 \text{ N/mm}^2$). Folglich bleibt die Betonzugzone im Gebrauchslastzustand rissfrei.

Die Spannstahldehnung wurde unter Wirkung der den rechnerischen Bruchsicherheitsnachweis ersetzenden Prüflast $F = 54,3 \text{ kN}$ mit max. $= 2,5\text{‰}$ gemessen. Unter Hinzuziehung der rechnerischen Spannstahlvordehnung nach Abschluss von Kriechen und Schwinden von $3,56\text{‰}$ ergibt sich die gesamte Spannstahldehnung zu $\sim 6,1\text{‰}$. Die Streckgrenze des verwendeten Spannstahles St 1.400/1.600 wird demzufolge nicht ausgelastet.

Fazit: Diese und vorangegangene eigene Untersuchungen belegen, dass es keine Gebrauchswerteinschränkung gibt. Es bestehen keine Bedenken gegen die Wiederverwendung der Spannbetondeckenplatten.²³³

• Schlaff bewehrte Deckenplatten

Die Belastungsanordnung ist nachstehend abgebildet (Abb. 5.14):

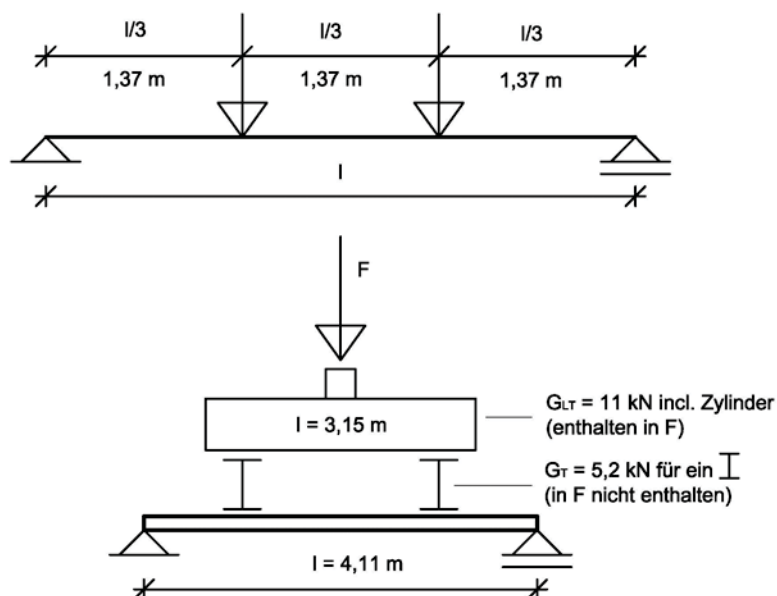


Abb. 6.14: Belastungsanordnung und Einrichtung Stahlbetondeckenplatte 21120

²³³ Hinweis: Die Traglastversuche sind in einem Video dokumentiert worden.

$$M_q = \frac{10 \cdot 4,11^2}{8} \cdot 1,8 = 38,0 \text{ kNm/Platte}$$

$$M_q = 21,12 \text{ kNm/m}$$

$$\text{Eigenlast} = 0,14 \cdot 25 = 3,50 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Fußboden} = 1,50 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Verkehrslast} = 5,00 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 10,00 \text{ kN/m}^2$$

$$M_g = \frac{3,5 \cdot 4,11^2}{8} \cdot 1,8 = 13,30 \text{ kNm/Platte}$$

folglich

$$M_p = 38,0 - 13,3 = 24,7 \text{ kNm/Platte}$$

Es wirkt je

$$F/2 = 24,7 \cdot \frac{4,11}{3} = 18,03 \text{ kN}$$

res. Kraft

$$F = 2 \cdot \left(\frac{F}{2} - G_T \right)$$

$$F = 2 \cdot (18,03 - 5,2) = 25,66 \text{ kN}$$

folglich

$$M_p = \frac{4,11}{3} \cdot (12,83 + 5,2) = 24,70 \text{ kNm/Platte}$$

Mit dem Abstand der Lasteintragungspunkte bei $l/3$ von den Auflagern werden zur Eintragung des Biegemomentes aus Verkehrslast $M_p = 24,7 \text{ kNm/Platte}$ die beiden Einzellasten

$$\text{je } F/2 = 24,7 / 1,37 = 18,03 \text{ kN}$$

Die Eigenlast der beiden Lasteintragungsträger von je $G_T = 5,2 \text{ kN}$ ist hierbei enthalten.

Durch die Prüfszylinderanlage wird folglich die resultierende Kraft $F = 2 \cdot (F/2 - G_T)$ eingetragen.

Das zulässige Biegemoment aus Verkehrslast

$$M_p = 24,7 \text{ kNm wird bei } F = 25,66 \text{ kN erreicht.}$$

$$M_p = (25,66 + 10,4) \cdot 0,5 \cdot 4,11/3 = 24,7 \text{ kNm}$$

Gemäß nachstehendem Last-Zeit-Diagramm (Abb. 6.15) erfolgte die Belastung. Die Lage der Kraft-einleitungs- und Messstellen ist analog der Spannbetondeckenplatte (vgl. Abb. 6.7).

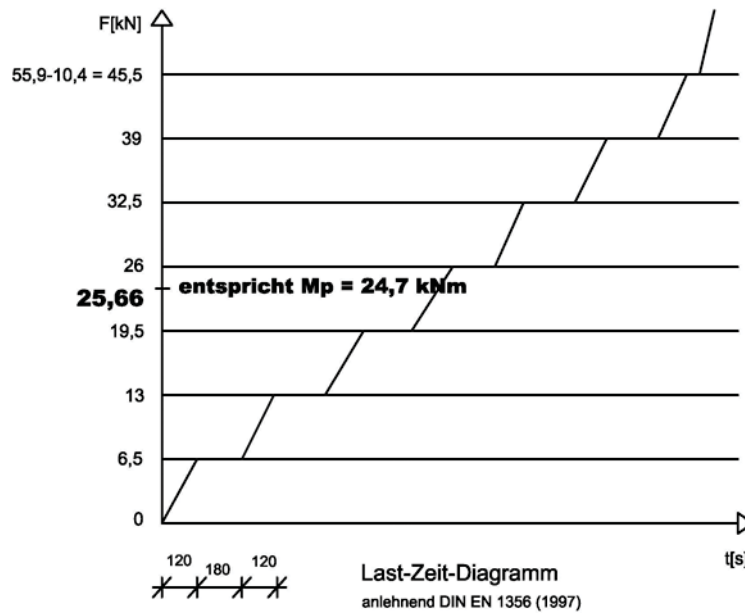


Abb. 6.15: Last-Zeit-Diagramm anlehnend an DIN EN 1356: 1997-02

Versuchsergebnisse²³⁴

Die Ergebnisse stellen sich wie folgt dar:

- Durchbiegung

Die gemessenen Durchbiegungen sind bei Wirkung der den Gebrauchslastzustand ersetzenden Last von $F = 25,66 \text{ kN}$ mit max. 6 mm sehr gering.

Die zulässige Durchbiegung von $l/250 = 411/250 = 1,64 \text{ cm}$ bzw.

$$l/500 = 411/500 = 0,82 \text{ cm (im Hinblick auf Trennwände)}$$

wird demnach nicht überschritten.

0,82 cm wurde bei DP 1 und 2 erst bei doppelter Gebrauchslast,

bei DP 3 erst bei 1,4-facher Gebrauchslast ($= 36 \text{ kN}$),

bei DP 4 erst bei 1,5-facher Gebrauchslast ($= 39 \text{ kN}$) erreicht.

Außerdem beweisen die Versuchsergebnisse auch hier wiederum eine lineare Abhängigkeit zwischen Belastung und Durchbiegung, die mindestens bis zur 2,5-fachen Gebrauchslast erhalten bleibt (s. Abb. 6.16). Gleiches gilt für die Stahldehnungen sowie die Verformungen des Betons in der Druck- und Zugzone (s. Abb. 6.17).

²³⁴ Schmiedehausen, Rudolf: Rechnerische und experimentelle Untersuchungen für Stahlbetondeckenplatten des P2-Wohnungsbaus, El.-Nr. 21120 und 21121, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, 02.10.2006

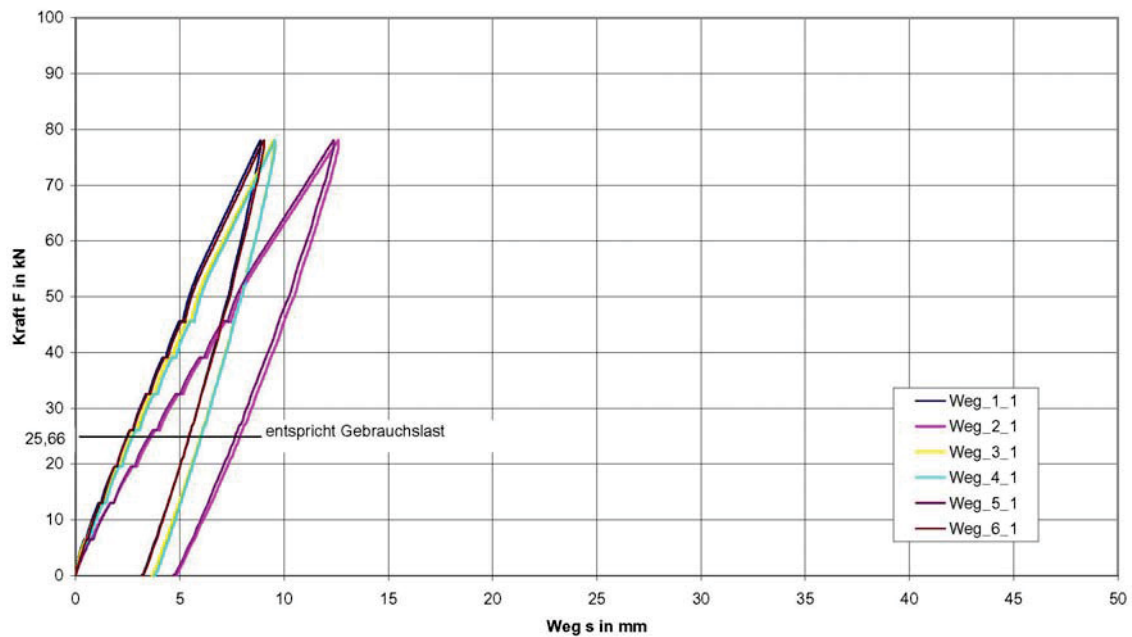


Abb. 6.16: Kraft-Weg-Diagramm Stahlbetondecke 2, Elemente-Nr. 21120

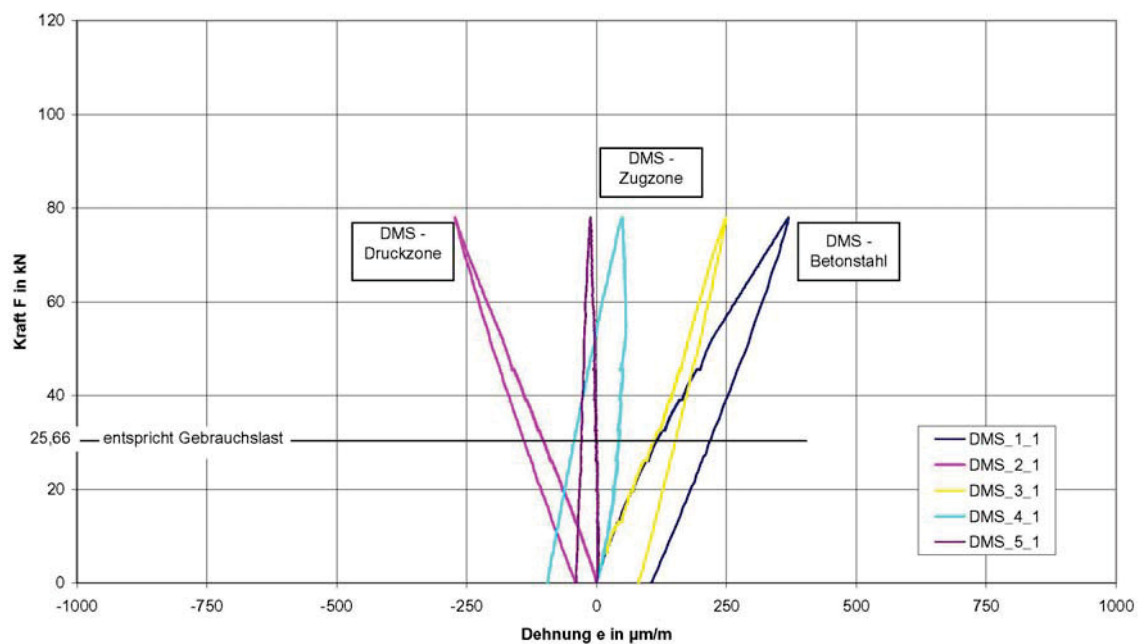


Abb. 6.17: Kraft-Dehnungs-Diagramm Stahlbetondecke 2, Elemente-Nr. 21120

Bei DP3 wurde die Belastung bis auf über $F = 125 \text{ kN}$ (entspricht etwa der 6-fachen Gebrauchslast) gesteigert. Eine überproportionale Durchbiegungszunahme zeigte sich erst ab $F = 75 \text{ kN}$ (vgl. Abb. 6.18). Gleichzeitig ergab sich erst jetzt eine überproportionale Zunahme der Stahldehnungen (vgl. Abb. 6.19). Gekoppelt mit dem ausgeprägten Stahlfließen stellte sich die Durchbiegung bei $F \approx 135 \text{ kN}$ zu etwa 130 mm ein. Nach Entlastung wurde eine bleibende Durchbiegung von 100 mm gemessen.

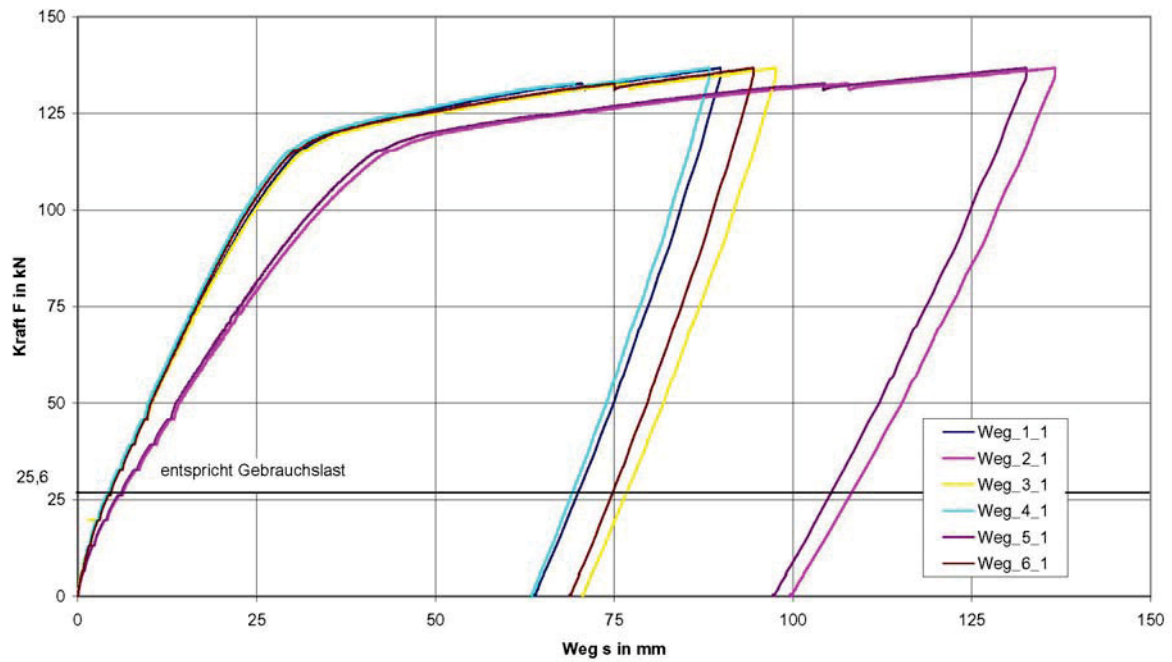


Abb. 6.18: Kraft-Weg-Diagramm Stahlbetondecke 3, Elemente-Nr. 21120

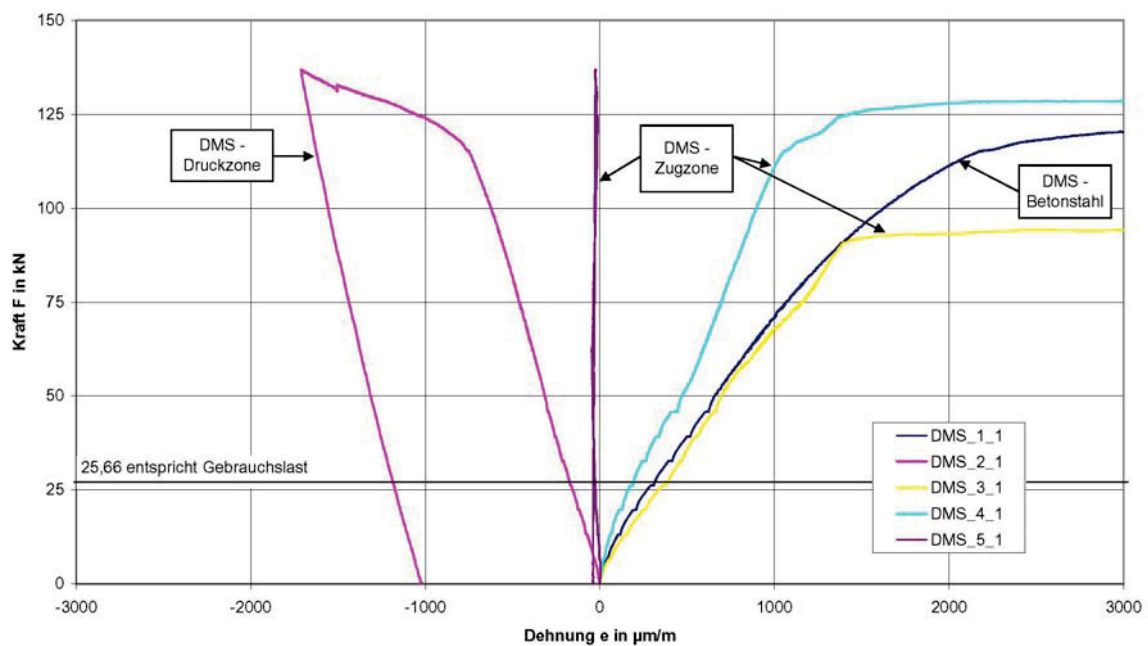


Abb. 6.19: Kraft-Dehnungs-Diagramm Stahlbetondecke 3, Elemente-Nr. 21120

Die DP versagten weder in der Betondruckzone noch durch Stahlfließen. In der Betonzugzone entwickelte sich ein typisches Biegerissbild mit gleichmäßiger Rissverteilung in engen Abständen. Die Risstiefe betrug etwa 2/3 der Plattendicke.

- Verformung im Auflagerbereich

Die gemessenen Stauchungen bzw. Dehnungen betrugen max. $\pm 0,1\text{‰}$ und lagen wegen der sehr geringen Größe unterhalb der Auswertungsgrenze. Verformungen (Schubrisse) infolge von Querkraftbeanspruchungen können folglich nicht auftreten. Dieselbe Feststellung ist auch nach dem rechnerischen Querkraftnachweis ableitbar.

Fazit: Die Versuchsergebnisse belegen, dass keine Gebrauchswerteinschränkungen zu verzeichnen sind. Somit bestehen keine Bedenken gegen die Wiederverwendung.

6.2.2.4 Bewertung der Innenwände²³⁵

Zur Zeit der Bauerrichtung war für die Bemessung bzw. für die Ermittlung der zulässigen Wandbelastung außer der TGL 11422 zusätzlich die Vorschrift „Bauten in Montagebauweise“²³⁶ zu beachten. Exemplarisch werden die Ergebnisse der Innenwandplatte 51707 vom P2-Typ dargelegt. Die Innenwand wurde in B 160 (~ C12/15) hergestellt und gilt als unbewehrt. Nur die konstruktive Trag- und Transportbewehrung ist vorhanden.

Da im Gegensatz zur ursprünglichen vielgeschossigen Bauweise von der Annahme ausgegangen wurde, dreigeschossige Wohngebäude zu bauen, ist beim Nachweis nach DIN 1045 nur die für

3 Geschosse vorhandene Last	$N_{vorh.} = 155 \text{ kN/m}$
der zulässigen Last	$N_{zul.} = 161 \text{ kN/m}$

gegenüber gestellt worden. Daraus folgt, dass für diesen Anwendungsfall zur Wiederverwendung der Innenwandplatten aus statischer Sicht keine Bedenken bestehen.

6.2.2.5 Fazit

Im Wesentlichen lässt sich feststellen und ableiten:

- Die geprüften Betonelemente verfügen über hohe Gebrauchseigenschaften d. h. gegen eine Wiederverwendung oder Weiterverwendung bestehen keine Bedenken.
- Die vorhandene Tragbewehrung der geprüften Deckenelemente ist für Verkehrslasten in Wohnräumen ($1,50 \text{ kN/m}^2$) ausreichend.
- Schlaff bewehrte Deckenplatten aus dem P2-Typ können sogar in Büroräumen (Verkehrslast 5 kN/m^2) eingesetzt werden.
- Die Druckfestigkeit der Betonelemente hat gegenüber den Anforderungen aus der Projektierung zugenommen. Die in Rede gestellte Mindestbetonklasse C 30/37 ist bei den geprüften Deckenelementen aus Spannbeton nachgewiesen worden.
- Die Expositionsklasse XC1 wird von allen untersuchten Betonelementen erfüllt. Bauteile aus dem Gebäudeinneren können ohne weiteres wieder im Inneren verbaut werden. Nimmt die Beanspru-

²³⁵ Schmiedehausen, Rudolf: Prüfbericht – Rechnerische Nachweise zur Trag- und Nutzungsfähigkeit ausgewählter Deckenplatten und Wände von Wohngebäuden der Typenserie P2, im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, September 2001

²³⁶ WBS 70 Bauten in Wandkonstruktion in Montagebauweise, Vorschrift (1977), Schriftenreihe der Bauforschung, Reihe Wohn- und Gesellschaftsbauten, Heft 34, Berlin

chung der Umgebungsbedingungen (Expositionsklassen) zu wie bspw. ehemals innen verbaute Betonbauteile sollen sekundär im Außenbereich eingesetzt werden, so sind dementsprechend Maßnahmen zur Ertüchtigung einzuplanen.

6.3 Bauphysikalische Merkmale

An Gebäude werden bestimmte bauphysikalische Anforderungen gestellt, wie an²³⁷:

- den Schallschutz gegen Lärm- und Geräuschbelästigungen (Außenlärm, Geräusche aus den Nutzungsbereichen),
- den Brandschutz, um Gefährdungen für Gesundheit und Leben auszuschließen; Personenschutz (Gefährdung von Brand von außen und innerhalb der Nutzungsbereiche),
- den Wärmeschutz, um Behaglichkeit und Wohnhygiene zu garantieren (Schutz vor extremen Temperaturwechseln). Der Wärmeschutz hat Auswirkungen auf den Energieverbrauch und direkten Einfluss auf die Lebensdauer (gleiches gilt für den Feuchteschutz); energiesparender Wärmeschutz der Gebäude bedeutet Verbesserung des Umweltschutzes und Reduzierung der Energiekosten,
- den Feuchteschutz (Schutz vor Schlagregen, Abführen der Wohnfeuchte); Vorbeugen von Schäden an der Bausubstanz.

Von einzelnen Bauteilen sind die genannten bauphysikalischen Anforderungen oft gleichzeitig zu erfüllen. Bauphysikalische Anforderungen regeln hauptsächlich:

- DIN 4109 – Schallschutz im Hochbau
- DIN 4108 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden
- EnEV²³⁸ - Energiesparverordnung
- DIN 4102 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen

In nachstehenden Kapiteln werden vornehmlich eigene Untersuchungsergebnisse zum Schall-, Wärme- und Brandschutz wiedergegeben.

6.3.1 Schallschutz

Unter Schallschutz werden Maßnahmen zusammengefasst, die störendem und gesundheitsschädigendem Lärm entgegenwirken. Dazu gehören neben der Schallentstehung auch Maßnahmen gegen die Schallübertragung von Luft- und Trittschall als Sonderform des Körperschalls²³⁹.

²³⁷ vgl. Reuschel, Mathias: Gebäudediagnose aus bauphysikalischer Sicht. Energieeffiziente Gebäudesanierung, in: Tagungsband Alte Platte – Neues Design – die Platte lebt, Hrsg. Angelika Mettke, Cottbus, 2005, S. 111.

²³⁸ seit 1. Febr. 2002 gültig; dient zur Minderung des Energieverbrauchs im Gebäudeneubau als auch im Bestand u. damit auch zur Senkung der energiebedingten CO₂-Emissionen. Bei bestehenden Gebäuden sieht die EnEV Anforderungen und Maßnahmen vor

- bei baulichen Veränderungen (wenn erstmalig der Einbau, Ersatz oder die Erneuerung einzelner Bauteile einen Anteil von 20 % der jeweiligen Bauteilfläche übersteigt),
- an anlagentechnische und bauliche Nachrüstverpflichtungen,
- zur Aufrechterhaltung energetischer Qualität

[Näheres s. Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München unter www.fiw-muenchen.de]

²³⁹ Verbesserung des Schallschutzes von Wohngebäuden im Bestand: www.insurance-and-finance.de/download/Leitfaden-Bauen16-4.pdf aufgerufen am 02.11.2007.

Bauakustische Anforderungen in Wohngebäuden werden durch ein bewertetes Schalldämm-Maß R'_w für den Luftschallschutz und einen bewerteten Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ für den Trittschallschutz gestellt. Beide Parameter beschreiben den Schallschutz für wohnübliche Geräuschsituationen.

Bezüglich der Anforderungen wird zwischen Mindestanforderungen und erhöhten Anforderungen unterschieden. Erstere werden mit dem Ziel festgelegt, Menschen in Räumen vor unzumutbaren Belästigungen vor Schall zu schützen. Auf dieses Schutzniveau beziehen sich nachstehende Ausführungen²⁴⁰. Bewertet wurden Wände und Decken der Gebäudeserie P2:

- Wohnungstrennwände, Treppenraumwände
Dicke der Wände: 15 cm Stahlbeton; stehen auf der Rohdecke und sind deckentragend; der Fugenverschluss erfolgt durch ein Mörtelschloss
- Wohnungstrenndecken
bestehen aus:

14 cm	Stahlbeton
	Trennlage
5 cm	Anhydritestrich
0,6 cm	Spannteppich mit Filzeinlage
- Treppenanlagen
sind in Form von kassierten Fertigelementen hergestellt. Hauptpodeste sind zweiseitig in die Treppenraumwände eingebunden. Die Nebenpodestanlagen sind Bestandteil eines geknickten Treppenlaufelementes und einseitig ebenfalls konstruktiv in die Treppenraumwand eingebunden.
Die längsseitige Fuge der Haupt- und Nebenpodeste ist zur Treppenraumwand konstruktiv als offen vorgesehen. Praktisch ist regelmäßig eine geschlossene Fuge zwischen Hauptpodest und längsseitiger Treppenraumwand ausgeführt.
Die Treppenläufe sind durch eine Fuge von den Treppenraumwänden abgesetzt. Treppenläufe und –podeste sind starr miteinander verbunden.
Alle Treppenelemente besitzen eine Terrazzooberfläche.

Zum Zeitpunkt der Herstellung der Gebäude war die Norm TGL 10687/03 „Schalldämmung von Bauwerksteilen“ eingeführt worden. Diese Forderungen werden in der Regel bei sachgemäßer Bauausführung in den industriell errichteten Bauten (Block-, Streifen- und Plattenbauweise) eingehalten. Die in der aktuell gültigen DIN 4109-1: 1989-11 sowie in der VDI 4100: 1994-09 gestellten Anforderungen hingegen werden überwiegend nicht erfüllt.

In nachstehender Tab. 6.17 sind die Untersuchungsergebnisse messtechnischer Bestandsaufnahmen von bauakustisch relevanten Bauwerksteilen der Standardkonstruktion vom P2-Gebäudetyp den Berechnungsergebnissen zum Schallschutz, den damaligen TGL- und heutigen DIN-Anforderungen gegenübergestellt.

²⁴⁰ Mettke, Angelika: Wieder- und Weiterverwendung von gebrauchten Betonfertigteilen, in: Beton+Fertigteil-Jahrbuch 2003, S.70 ff.

Tab. 6.17: Anforderungen und Ist-Werte zum Luft- und Trittschallschutz für Bauteile des P2-Typs
(Standardkonstruktion)²⁴¹

Schallschutzqualität - Mindestwerte [dB]										
Bauteil	TGL 10687 / 03 (Ausg. 09.86)		DIN 4109 (Ausg. 11.89)		VDI 4100 (Ausg. 09.94) Schallschutzstufe 1		Rechenwerte [dB]		Messwerte [dB]	
	erf. R'_w	erf. $L'_{n,w}$	erf. R'_w	erf. $L'_{n,w}$	erf. R'_w	erf. $L'_{n,w}$	R'_w	$L'_{n,w}$	R'_w	$L'_{n,w}$
Wohnungstrennwände	51		53		53		51		47	
Treppenraumwände	51		52		52		51			
Wohnungstrenndecken	51	59	54	53 ¹	54	53 ¹	53	72 ² 48 ³ 55 ⁴	48 ³	77 50 ³ 55 ⁴
Treppenanlagen: Treppenläufe und Podeste		59		58		58		59 ⁵ 65 ⁶		68 ⁷ 56 ⁸ 58 ⁹
Wohnungseingangstüren	22		27		27		n.e.		n.e.	

¹ weichfedernde Bodenbeläge dürfen beim Nachweis der Anforderungen nicht angerechnet werden

² für die Decke mit Estrich

³ für die Decke mit Spannteppich

⁴ für die Sanitärzelle

⁵ mit offener Fuge zur Treppenraumwand

⁶ mit geschlossener Fuge zur Treppenraumwand

⁷ Hauptpodest

⁸ Nebenpodest

⁹ Treppenläufe

n.e. nicht erfüllt

Auf der Grundlage der messtechnischen Untersuchungen im Bestand zum praktisch erreichten Schallschutzniveau basiert folgende Situationsbewertung²⁴²:

Wohnungstrennwände

Das bewertete Schalldämm-Maß $R'_w = 47$ dB (i.M.) fällt überraschend niedrig aus. Dieser festgestellte Wert liegt 4 dB unter dem Rechenwert bzw. sogar auch 4 dB unter dem Anforderungswert nach TGL. Das erreichte Schutzniveau ist folglich als äußerst schlecht zu bezeichnen. Die heute geltenden Mindestanforderungen nach DIN 4109 werden um 6 dB des ermittelten Mittelwertes nicht erlangt.

Die Ursachen des schlechten Luftschallschutzes sind in den Fugenanschlüssen und in der mangelhaften Herstellung dieser zu suchen. Durch Bauteilbewegungen sind Fugenanschlüsse gerissen, die Fugenverfüllungen weisen sehr unterschiedliche Verdichtungen, teilweise mit Hohlräumen durchsetzt, auf.

²⁴¹ zusammengefasst aus: Jackisch, Reinhard: Rechnerischer und messtechnischer Nachweis der Luft- und Trittschalldämmung von Standardkonstruktionen des Typs P2, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, 2002 und Vergleich mit Baasch, Helga; Paap, Helga; Rietz, Andreas: Sanierungsgrundlagen Plattenbau, 1999 Abschn. 4.3.3.

²⁴² Jackisch, Reinhard: Rechnerischer und messtechnischer Nachweis der Luft- und Trittschalldämmung von Standardkonstruktionen der Wohnungsbauweise P2, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, 2002, S. 22 ff.

Über die Anschlussfugen ist – subjektiv gesehen – angehobene Sprache von Raum zu Raum hörbar.

Durchgeführte Simulationsrechnungen und Körperschallmessungen am Bau ergaben, dass die Schall-Längsdämm-Maße der vorhandenen flankierenden Bauteile ausreichend bemessen sind.

Um das gewünschte Schallschutzniveau nach DIN 4109 zu erzielen, müssen Sanierungsmaßnahmen sowohl im Fugenbereich als auch im direkten Wohnungstrennwandbereich ansetzen.

Wohnungstrenndecken, Wohnbereich

Der Luftschallschutz von Wohnungstrenndecken wurde im Mittel mit $R'_{w} = 48$ dB gemessen. Damit liegt der gemessene Mittelwert des Luftschallschutzes mit 5 dB unter dem Rechenwert, 3 dB unter dem Anforderungswert nach TGL und 5 dB unter dem heute geltenden DIN-Vorgaben.

Der mittlere Wert des festgestellten Trittschallschutzes von $L'_{n,w} = 50$ dB bei Decken mit Spannteppich ist dem Alterungsverhalten des Belags geschuldet. Die Trittschallschutzanforderungen der TGL werden mit 9 dB und der DIN mit 3 dB übererfüllt, d.h. mit großer Sicherheit erreicht.

Für die Rohdecke mit Estrich beträgt $L'_{n,w} = 77$ dB (i.M.). Dies ist mit 5 dB schlechter als der rechnerisch bzw. theoretisch zu erwartende Trittschallschutz. Die Ursache liegt in der eingebauten Trennlage zwischen Estrich und Rohdecke und das daraus resultierende akustisch ungünstig wirkende Resonanzsystem. Gleichzeitig kann die Estrichschicht stärker durch Energieeintrag angeregt werden und die Energie in die angrenzenden Wände weiterleiten. Denn der Verbund zwischen Estrich und Wand ist relativ stark.

Wohnungstrenndecken, Sanitärraumzelle

Bei Wohnungstrenndecken mit Sanitärraumzellen wurde für eine diagonale Trittschallübertragung ein Mittelwert von $L'_{n,w} = 55$ dB ermittelt. Dies entspricht dem theoretischen Erwartungswert.

Der Anforderungswert nach TGL wird mit $L'_{n,w} = 59$ dB in einem guten Verhältnis erfüllt. Der heutige Anforderungswert nach DIN 4109 von $L'_{n,w} = 53$ dB wird nicht erreicht. Deshalb ist das Trittschallschutzniveau als nicht gut zu bewerten.

Die Ursache des ungenügenden Trittschallschutzes wird in Körperschallbrücken im Fußbodenanschlussbereich und im vertikalen Anschlussbereich der Schachtverkleidung zur Wohnungstrennwand gesehen.

Treppenraumwände

Messungen wurden nicht durchgeführt. Erwartet werden Luftschallschutzwerte um 51 dB (entspr. R'_{w} berechnet) aufgrund der konstruktiven Gegebenheiten. Damit wird das geforderte Luftschallschutzniveau nach TGL erfüllt, aber nach DIN um 1 dB unterschritten.

Treppenanlagen, Haupt- und Nebenpodeste

Der Trittschallschutz von Nebenpodesten wurde im Mittel mit $L'_{n,w} = 56$ dB in einer ähnlichen Größenordnung wie für die Treppenläufe festgestellt.

Die Hauptpodeste weisen im Mittel einen Trittschallschutz von $L'_{n,W} = 68$ dB auf und sind somit beträchtlich schlechter als die Nebenpodeste und Treppenläufe. Alle Trittschallanforderungen werden erheblich überschritten. Das Schallschutzniveau ist als unzumutbar schlecht zu bewerten.

Die Ursache liegt im Fugenanschluss des Hauptpodestes längsseitig an die Treppenraumwand. Im Gegensatz zu den Treppenläufen und den Nebenpodesten wurde diese Fuge im Ausbauprozess geschlossen. Der Messwert entspricht etwa dem Rechenwert in Höhe von $L'_{n,W} = 65$ dB.

Zusammenfassung der Ergebnisse zum Schallschutz

Der Vergleich der Werte nach TGL 10687/03: 1986-09 mit den heutigen Schallschutzanforderungen nach DIN 4109: 1989-11 und der VDI 4100: 1994-09 zeigt, dass die Plattenbauweise Typ P 2 nicht die heutigen Anforderungen an den Schallschutz erfüllt. Eine Ausnahme bildet die Wohnungstrenndecke mit Spannteppich. Sie erfüllt auch die heutigen Anforderungen an den Trittschallschutz.

Die Messergebnisse²⁴³ von ca. 30 Einzelmessungen weichen jedoch teilweise erheblich von den Rechenwerten ab. Das trifft besonders auf den Luftschallschutz von Wohnungstrenndecken und Wohnungstrennwänden zu (vgl. Tab. 6.17). Als Ursache wurden Bau- und Verarbeitungsmängel aber auch konstruktive Zusammenhänge festgestellt.

6.3.2 Wärmeschutz

Wärmeschutztechnische Anforderungen werden in Mindestanforderungen und Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz unterschieden. Durch die Einhaltung des Mindestwärmeschutzes soll Tauwasser- und Schimmelfreiheit der Bauteile und damit hygienisches Raumklima gewährleistet werden. Bei den Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz handelt es sich um erhöhte Anforderungen, welche eine energiesparende Ausführung von Bauteilen bzw. Gebäuden absichern. Bauteilanforderungen werden entweder über den Wärmedurchlasswiderstand R oder über den Wärmedurchgangskoeffizienten U (früher k) gestellt.

Nachstehend dargelegte Untersuchungen beinhalten Berechnungen der Wärmedurchgangskoeffizienten und Wärmedurchlasswiderstände von dreischichtigen Außenwänden (17 cm Tragschicht, 5 cm Schaumpolystyrol, 7 cm Wetterschale), Treppenraumwänden (15 cm Stahlbeton) und Decken: Geschossdecke, Kellerdecke (14 cm Rohdecke, Trennlage, 5 cm Fließanhydritestrich, 0,6 cm Spannteppich mit Filzeinlage²⁴⁴), Decke zum belüfteten Dach mit Regelaufbau (14 cm Rohdecke, 1 Lage Dachpappe lose verlegt, 4,5 cm Mineralwollematten) der Gebäudeserie P2. Die Berechnungsergebnisse wurden den Anforderungen nach TGL 35424/03(12/85) „Bautechnischer Wärmeschutz“ sowie den heute gültigen Anforderungen nach DIN 4108-2: 2003-07 (unverändert gegenüber der Ausgabe 2001-03) gegenüber gestellt. Die Ergebnisse zum Wärmedurchlasswiderstand sind in nachstehender Tab. 6.18 zusammengefasst.

²⁴³ Grundlagen: DIN EN ISO 140 „Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen“; DIN EN ISO 717 „Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und Bauteilen, Bauakustische Auswertungssoftware NOR-SIC, Version 3.0.18

²⁴⁴ Vom VEB WBK Cottbus wurden Wohnungstrenndecken i. d. R. ohne zusätzliche Dämmschichten im Fußbodenaufbau ausgeführt. Die Kellerdecken wurden z.T. ohne Wärmedämmung, überwiegend jedoch wärmegeklämt ausgeführt. Hier wird vom ungünstigsten Fall, d.h. einen ungedämmten Fußbodenaufbau ausgegangen.

Tab. 6.18: Wärmeschutz – Bewertung der Bestandssituation²⁴⁵

	Mindestwerte Wärmedurchlass- widerstand R von Bauteilen nach DIN 4108-2: 2003-07		Anforderungen Mindest- wärmeschutz nach TGL 35424/03(12/85)		Bewertung Mindest- anforderung		Bemerkungen
	[m²K/W]		[m²K/W]		erfüllt	nicht erfüllt	
	R	R _{vorh}	R _{min}	R _{m,vorh}			
Außenwände (Längsaußenwände und Giebelplatten)	1,2	≈ 1,0 (-14%) ³	0,60 ¹ 1,15 ²	1,28 (-11%) ³		x	erhöhtes Risiko für Tauwasser- und Schimmelbildung (Raumecken und Fensterlaibungen besonders gefährdet)
Treppenraumwände			keine Anforderungen, da Heizkörper im Treppenhäusern vorhanden				
$\theta_i > 10\text{ °C}$	0,07	0,10			x		
$\theta_i \leq 10\text{ °C}$	0,25	0,10				x	
Wohnungstrennwände	0,07	0,10	keine besonderen Anforderungen		x		
Wohnungstrenndecken	0,35	0,27	keine Anforderungen			x	ohne zusätzliche Dämmschicht
Kellerdecken	0,9	0,27	0,5			x	ohne zusätzliche Dämmschicht
		0,4-0,7				x	mit Dämmschicht
oberste Geschossdecken	0,9	1,07	1,3		x nach DIN	x nach TGL	erfüllt ab Dämm- schichtdicke von 4 cm

¹ von Räumen mit einer Außenwand
² als zweite und weitere Außenwand des Raumes
³ bei Berücksichtigung von Wärmebrücken an den Plattenrändern und Fensterlaibungen
R_{m,vorh} - Berechnung Wärmedurchlasswiderstand im Mittel
R_{min} - Mindestwärmedurchlasswiderstand

Die Bestandskonstruktion wird wärmeschutztechnisch wie folgt bewertet²⁴⁶:

Außenwände

Die dreischichtigen Längsaußenwandplatten sowie die Giebelwandplatten weisen einen nach TGL berechneten mittleren Wärmedurchlasswiderstand $R_{m,vorh}$ von 1,28 m²K/W auf. Damit sind die Anforderungen der im Bauzeitraum gültigen TGL 35424/03 von $R_{min} = 0,60$ bzw. 1,15 m²K/W eingehalten.

Ein Vergleich mit den heute gültigen Mindestanforderungen nach DIN 4108-2 zeigt, dass der Wärmedurchlasswiderstand der Außenwandelemente mit $R \approx 1,00 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, ermittelt nach DIN EN ISO 6946, unter dem Grenzwert von $R = 1,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ liegt. Der Mindestwärmeschutz ist nicht eingehalten.

²⁴⁵ zusammengefasst nach: Grosch, Volker; Pöthig, Steffen: Wärmeschutz von Standardkonstruktionen des Wohnbautyps P2, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, 2002

²⁴⁶ ebenda, S. 30 f.

Es besteht somit grundsätzlich ein erhöhtes Risiko für Tauwasser- und Schimmelpilzbildung. Besonders gefährdet sind dabei die Raumecken, die Fensterlaibungen und der Anschluss Außenwand-Kellerdecke.

Treppenraumwände

Da in den Treppenhäusern der Wohnungsbauserie P2 Heizkörper vorhanden sind, kann der Treppenraum als niedrig beheizter Raum mit einer Innentemperatur $\theta_i > 10^\circ\text{C}$ betrachtet werden.

Nach TGL bestanden keine Anforderungen hinsichtlich des Mindestwärmeschutzes der Treppenraumwände. Die Anforderungen nach DIN 4108-2 an Treppenraumwände mit $\theta_i > 10^\circ\text{C}$ von $R \geq 0,07 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ werden von den vorhandenen Treppenraumwände eingehalten.

Die höheren Anforderungen von $R = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ für Treppenräume, die nur indirekt oder nur auf Temperaturen $\theta_i \leq 10^\circ\text{C}$ beheizt werden (aber frostfrei sind), werden von den vorhandenen Wänden nicht erfüllt.

Wohnungstrennwände

Nach TGL bestanden keine besonderen Anforderungen.

Die Mindestanforderungen nach DIN 4108-2 an Wohnungstrennwände bzw. Wände zwischen fremdgenutzten Räumen von $R \geq 0,07 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ sind erfüllt.

Wohnungstrenndecken

In zentral beheizten Gebäuden bestanden nach TGL keine wärmeschutztechnischen Anforderungen an Wohnungstrenndecken. Die Anforderungen der DIN 4108-2 an den Mindestwärmeschutz der Wohnungstrenndecken von $R \geq 0,35 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ sind für den betrachteten Deckenaufbau ohne zusätzliche Dämmschichten mit $R = 0,27 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ nicht erfüllt.

Aus bauphysikalischer Sicht besteht bei Nichteinhaltung dieser Anforderung jedoch kein erhöhtes Risiko hinsichtlich Wärme- und Tauwasserschutz, sofern die Wohnräume auf $\theta_i > 10^\circ\text{C}$ beheizt sind.

Kellerdecke

Im ungünstigsten Fall sind im Fußbodenaufbau der Kellerdecke ebenso wie in den Wohnungstrenndecken keine zusätzlichen Dämmschichten eingebaut. Bei dieser Situation sind die Mindestanforderungen nach TGL von $R_{\min} = 0,95$ bzw. $0,50 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ bzw. nach DIN 4108-2 von $R \geq 0,90 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ nicht eingehalten.

Wurden Dämmschichten eingebaut, kann davon ausgegangen werden, dass der Wärmedurchlasswiderstand in der Regel Werte $R = 0,40 \dots 0,70 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ erreicht. Die heute gültigen Mindestanforderungen sind auch dann nicht eingehalten.

Decke zum belüfteten Dachraum

Die Wärmedämmeigenschaften der Decke zum belüfteten Dachraum werden durch eine Dämmstoffauflage abgesichert. Bei der Errichtung der Gebäude wurde die verwendete Dämmstoffdicke in der Regel an die jeweils geltenden Mindestanforderungen der TGL angepasst. Es wurden Dämmstoffdicken von 45, 60 bzw. 75 mm verwendet und Wärmedurchlasswiderstände von ca. $R = 1,1$ bis $1,9 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ erzielt.

Der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 von $R \geq 0,90 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ist bereits ab einer Dämmstoffdicke von ca. 4 cm eingehalten.

Zusammenfassung der Ergebnisse zum Wärmeschutz

Im Ergebnis wird festgestellt, dass die untersuchten Wohnungstrennwände und die oberste Geschossdecke des P2-Typs durch die Dicke der Dämmstoffauflage die Mindestanforderungen nach DIN 4108-02 eingehalten werden. Außenwände und Kellerdecken erfüllen diese Anforderungen nicht. Bei Treppenraumwänden hängt die Erfüllung der Mindestanforderungen von der Treppenraumtemperatur ab. Bei über 10°C Innentemperatur werden sie erfüllt, bei $\leq 10^\circ\text{C}$ nicht.

Dass heißt, ohne zusätzliche Maßnahmen erfüllt die Plattenbauweise P2 aufgrund der gering dimensionierten Wärmedämmschichten nicht die heutigen Anforderungen an den Wärmeschutz.

Im Weiteren wird auf die Publikation von REUSCHEL²⁴⁷ verwiesen, wo u.a. Bauteile der WBS 70 verschiedener Ausführungsvarianten bewertet werden.

Der mangelnde Wärmeschutz der industriell errichteten Wohngebäude ist in der Regel in allen Wohnbautypen anzutreffen. Dieser Mangel ist jedoch nicht nur in Ostdeutschland festgestellt worden, sondern bei industriellen Wohnbauten v.a. in den mittel- und osteuropäischen Ländern. Dort treten prinzipiell dieselben Probleme auf, meist allerdings in verschärfter Form.²⁴⁸

6.3.3 Brandschutz

Die Anforderungen hinsichtlich des Brandschutzes ergeben sich aus den jeweiligen Landesbauordnungen. Es sind Forderungen in punkto

- Lage auf dem Grundstück und zur Nachbarbebauung,
- Brandverhalten der Baustoffe und Bauteile,
- Größe und Schutz der Brandabschnitte,
- Lage und Gestaltung der Rettungswege

zu erfüllen.

²⁴⁷ Reuschel, Mathias: Gebäudediagnose aus bauphysikalischer Sicht. Energieeffiziente Gebäudesanierung, in: Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt, Hrsg. Angelika Mettke, Cottbus, 2005, S. 111 ff.

²⁴⁸ s. Kerschberger, Alfred: energetischer Umbau von Plattenbauten – Deutschland, Osteuropa, Russland, China [Toblacher Gespräche 2005: Bauen für die Zukunft, 22.09. – 24.09.2005].

Die DIN 4102 definiert u.a. die Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen und die Brandschutzklasse. Beton als klassischer Baustoff ohne brennbare Bestandteile wird der Klasse A1 (nicht brennbar) zugeordnet. In Abhängigkeit der Gebäudehöhe und der Anzahl der Wohnungen sind Mindestanforderungen des baulichen Brandschutzes zu erfüllen (entspr. Feuerwiderstandsklassifizierung²⁴⁹). Die meisten Bundesländer unterscheiden in Anlehnung an die Musterbauordnung (MBO, in der Fassung Nov. 2002) unterhalb der Hochhausgrenze von 22 m nach 4 Gebäudeklassen. Für sonstige Gebäude mit Höhen zwischen $22\text{ m} \geq \text{OFF} > 7\text{ m}$ ²⁵⁰ (entspr. der Gebäudeklasse 5 nach MBO; hier lassen sich 5- und 6-geschossige Plattenbauten mit Geschosshöhen von 2,80 m einordnen) wird beispielsweise für Wände gemäß § 27 MBO und Decken nach § 31 MBO gefordert, dass sie feuerbeständig sein müssen. D.h., es ist die Feuerwiderstandsklasse F 90 gefordert.

Nachstehend wird das versuchstechnische Ergebnis zum Brandverhalten von Stahlbeton- und Spannbetondecken skizziert. Die Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer erfolgte an je zwei Stahlbeton- und Spannbetondeckenplatten. Die Versuche wurden in der MFPA Leipzig²⁵¹ durchgeführt. Untersucht wurden die Elemente 21000 (Spannbetondeckenplatte), 21119 und 21120 (Stahlbetonplatte) vom Gebäudetyp P2 im Baualter von 28 Jahren. Verbaut waren sie in einem 5-Geschosser in Cottbus in der Turower Straße. Eigens der Untersuchung zum Brandschutzverhalten wurden die demontierten Betonelemente per Tieflader ca. 180 km bis Laue (bei Delitzsch) transportiert.

Entsprechend der DIN 4102-4: 2004-11 erreichen die im Rahmen des Forschungsprojektes untersuchten Elemente der Typenserie P 2 mindestens die Feuerwiderstandsklassen F30-A²⁵². Bestätigt wird dies auch durch die Brandversuche. Jede Deckenplatte wurde einzeln geprüft; eingebaut als horizontaler Raumabschluss eines Deckenprüfens. Die Belastung der Elemente betrug $3,25\text{ kN/m}^2$ (vgl. Kap. 6.2.2.1, Tab. 6.13; setzt sich zusammen aus zusätzlicher Eigenlast $g_1 = 1,00\text{ kN/m}^2$, Verkehrslast $p = 1,50\text{ kN/m}^2$, Zuschlag für leichte Trennwände $\Delta p = 0,75\text{ kN/m}^2$) und wurde mittels Totlasten in Form von Beton- und Stahlgewichten (s. Abb. 6.20, 6.21) simuliert. Zur Messung der Verformung wurde in Plattenmitte ein potentiometrischer Wegsensor (WS) installiert. Die Lage der Messstellen im Brandraum ist der Abb. 6.22 entnehmbar.

²⁴⁹ bauaufsichtliche Bezeichnung der Feuerwiderstandsklassen:

- feuerhemmend F30, F60; das Bauteil erfüllt im Brandfall mindestens 30 resp. 60 Minuten seine Funktion
- feuerbeständig F90; das Bauteil erfüllt im Brandfall mindestens 90 Minuten seine Funktion
- hoch feuerbeständig F120, F180; das Bauteil erfüllt im Brandfall mindestens 120 resp. 180 Minuten seine Funktion.

²⁵⁰ vgl. bspw. Brandenburgische Bauordnung (BbgBO) vom 01.06.1994, §2 Abs. 3: Gebäude mittlerer Höhe sind Gebäude, bei denen der Fußboden des obersten Geschosses höher als 7 m und nicht höher als 22 m über der Geländeoberfläche liegt.

²⁵¹ Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für Bauwesen (MFPA) Leipzig GmbH, Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle nach Landesbauordnung, Bereich III Bauphysik, Baulicher Brandschutz.

²⁵² s. Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Ivanow, Evgeny: Endbericht "Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa", Mai 2008, S. 140

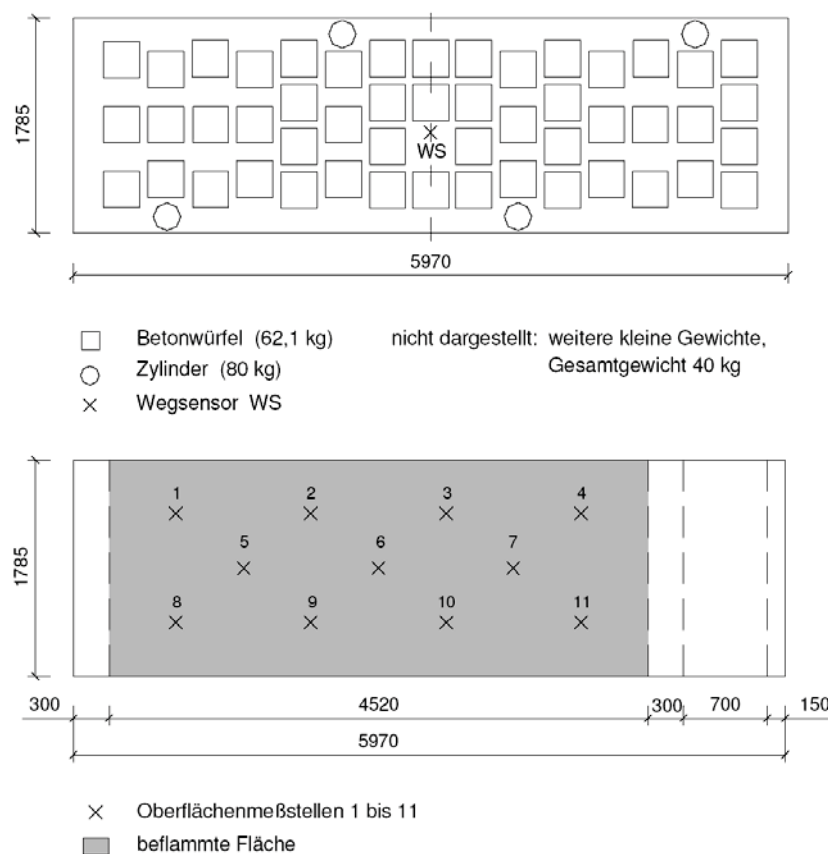


Abb. 6.20: Exemplarische Darstellung der Messpunkte und des Belastungsplanes zur Untersuchung des Feuerwiderstandes – Spannbetondeckenplatte 21000



Abb. 6.21: Brandraum (li.) und Simulation Belastung (re.)

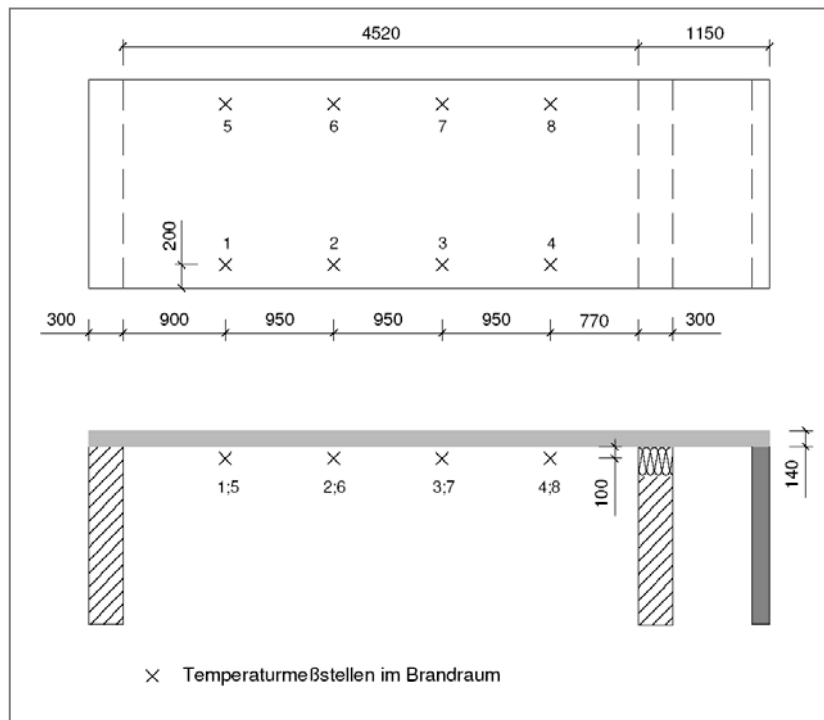


Abb. 6.22: Prüfanordnung / Lage der Brandraummessstellen – Spannbetondeckenplatte 21000

Die Aufheizung des Brandraumes erfolgte entsprechend der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) nach DIN 4102-2: 1977-09.

Zu wesentlichen Prüfergebnissen²⁵³:

Die Beobachtungen während der Brandprüfungen ergaben an allen 4 Deckenplatten, dass sich die Platten langsam verformten (s. Abb. 6.23, 6.24). Nach Abbruch der Prüfung der Spannbetondeckenplatte I bzw. nach Ende der Prüfung der Spannbetondeckenplatte II haben die Platten die Horizontal-lage nahezu wieder erreicht. In nachstehender Tab. 6.19 sind wichtige Prüfergebnisse aufgezeigt.

²⁵³ Hertel, Claudia: Prüfung des Brandverhaltens von Spann- und Stahlbetondeckenplatten zur Ermittlung der Deckenunterseite, Auszug aus Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, MFPA Leipzig GmbH, April 2003;
Mettke, Angelika: Nachnutzungsmöglichkeiten gebrauchter Betonbauteile, in: Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt, Hrsg. Angelika Mettke, 2005, S. 136 f.

Tab. 6.19: Ergebnisse der Brandversuche

Spannbetondeckenplatte 21000			
Normbezug nach DIN 4102-2:1977-09, Abschnitt	Anforderungen	Probepplatte	
		I	II
5.2.4 Tragfähigkeit	Beibehaltung der Tragfähigkeit unter Last	Die Tragfähigkeit blieb erhalten > 30 Minuten	
5.2.6 Durchbiegungsgeschwindigkeit	Einhaltung der zulässigen Durchbiegungsgeschwindigkeit $\Delta f/\Delta t = 570^2/(9.000 \times 13) = 2,8 \text{ cm/min}$	max. vorh. Durchbiegungsgeschwindigkeit	
		ca. 1 cm/min zwischen 25. und 27. Prüfminute	ca. 0,8 cm/min zwischen 19. und 20. Prüfminute
8.7	sonstige Angaben	max. Durchbiegung 30. Prüfminute in Plattenmitte	
		> 100 mm	104 mm
Feuerwiderstandsdauer		> 30 Minuten	
Stahlbetondeckenplatten			
Normbezug nach DIN 4102-2:1977-09, Abschnitt	Anforderungen	Stahlbetondeckenplatte	
		21120	21119
5.2.4 Tragfähigkeit	Beibehaltung der Tragfähigkeit unter Last	Die Tragfähigkeit blieb erhalten	
		> 90 Minuten	> 85 Minuten
5.2.6 Durchbiegungsgeschwindigkeit	Einhaltung der zulässigen Durchbiegungsgeschwindigkeit $\Delta f/\Delta t = 390^2/(9.000 \times 13) = 1,3 \text{ cm/min}$	max. vorh. Durchbiegungsgeschwindigkeit	
		ca. 4,0 cm/min zwischen 80. und 90. Prüfminute	> 1,3 cm/min zwischen 80. und 86. Prüfminute
8.7	sonstige Angaben	max. Durchbiegung in Plattenmitte	
		90. Prüfminute ca. 600 mm	86. Prüfminute schlagartiges Versagen
Feuerwiderstandsdauer		ca. 80 Minuten	

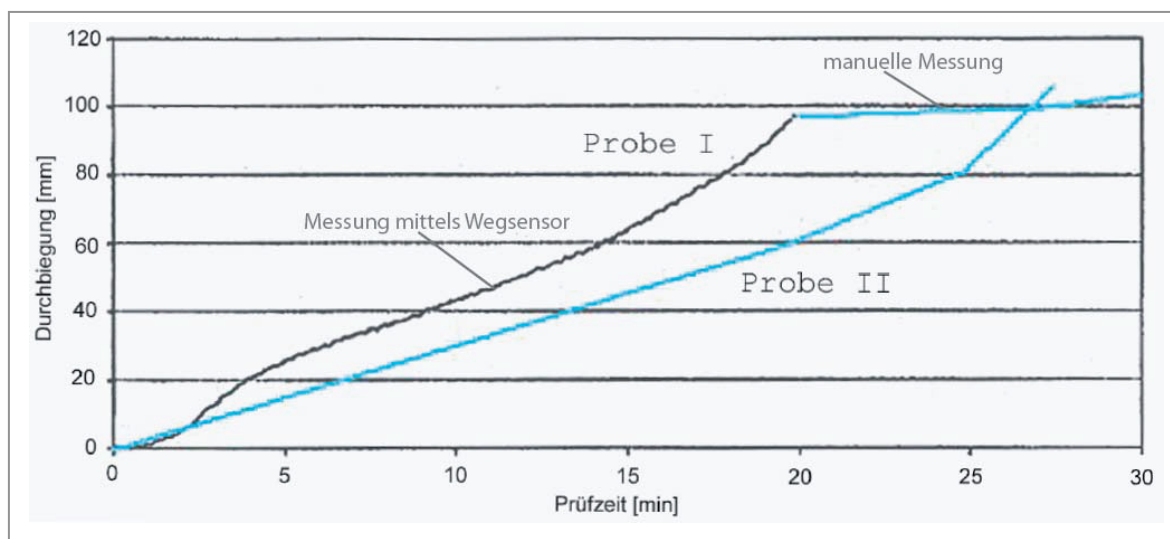


Abb. 6.23: Durchbiegung in Richtung Brandraum – Spannbetondeckenplatten 21000 (P2-Typ)

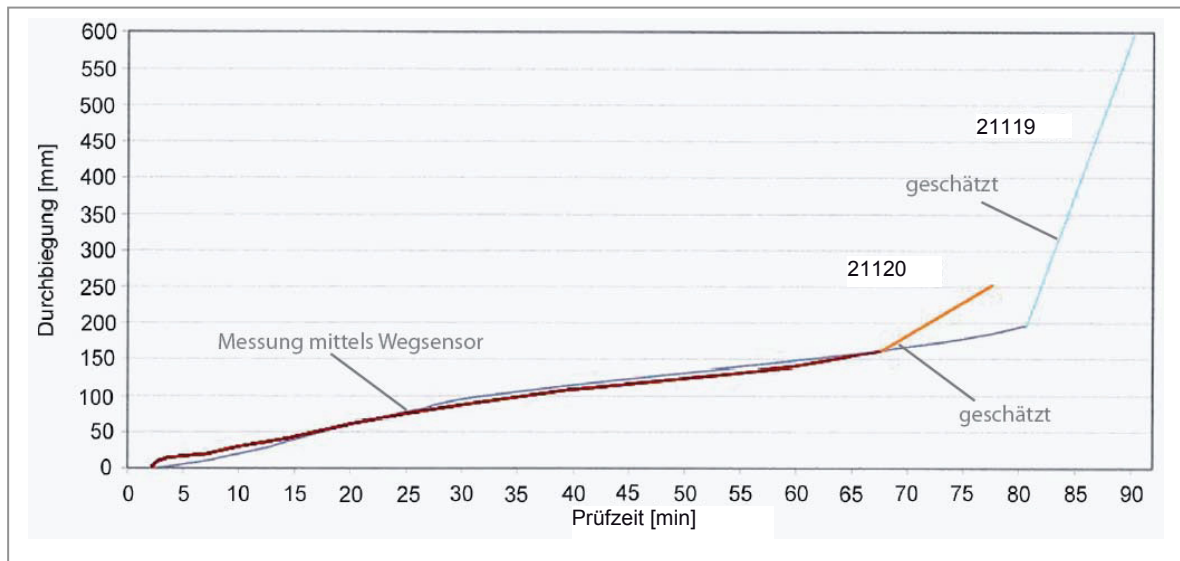


Abb. 6.24: Durchbiegung in Richtung Brandraum – Stahlbetondeckenplatten 21119, 21120 (P2-Typ)

Zusammenfassend wird festgestellt:

- **Spannbetonplatten:**

Die Anforderungen für F 30 wurden bei einer Feuerwiderstandsdauer > 30 min erfüllt. In der 30. Prüfminute betrug die maximale Durchbiegung in Plattenmitte > 100 mm bei der Probe I bzw. 104 mm bei der Probe II. Die Tragfähigkeit unter Last blieb über 30 min. erhalten.

- **Stahlbetonplatten**

Die Feuerwiderstandsdauer beträgt für beide Deckenplatten ca. 80 min. Die max. Durchbiegung wurde beim Element 21120 in der 90. Prüfminute mit ca. 600 mm registriert. Beim Element 21119 wurde ab der 80. Minute eine verstärkte Zunahme der Durchbiegung beobachtet, in der 86. Prüfminute versagte die Platte schlagartig.

Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse zum Brandverhalten

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Berechnungen zur Feuerwiderstandsdauer mit den im Versuch ermittelten Werten übereinstimmen. Damit lassen sich die Elemente, sofern sie nicht ertüchtigt werden, nur in Wohngebäuden mit einer Höhe bis zu 7 m wieder einbauen. Denn die Gebäudeklasse 3 erfordert nach § 27 und 31 MBO den Einsatz feuerhemmender Feuerwiderstandsklassen für Decken und Wände im Normalgeschoss. Bei einem sekundären Einsatz der Decken und Wände im Kellergeschoss ist dies bis zur Gebäudeklasse 2 (Wohngebäude mit einer Höhe bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m² Grundfläche) unaufgearbeitet möglich.

7 Nachnutzungsmöglichkeiten gebrauchter Betonelemente aus Plattenbauten

Nachfolgend wird auf mögliche sekundäre Einsatzbereiche für schon einmal in Nutzung gewesene Betonbauteile eingegangen. Zwischenergebnisse wurden regelmäßig und zeitnah entsprechend der erzielten Forschungsergebnisse veröffentlicht in [5], [7] - [12], [16], [20], [23] - [25], [27], [30], [38], [39], [41], [43], [45], [50], [51], [53], [57], [58], [61] - [65]. Nachfolgend wird darauf Bezug genommen; hinsichtlich der Weiterverwendung von Betonelementen im Deichbau insbesondere auf [53].

7.1 Einleitung

Rückgebaute Betonelemente (s. Kap. 4 und 6) können entweder als Bauteil in Gänze (vgl. Def. Kap. 2.1) ggf. aufgearbeitet oder in RC-Anlagen aufbereitet als Sekundärrohstoff resp. Rezyklat (vgl. Kap. 9) nachgenutzt werden. Beide Recyclingvarianten entsprechen dem übergeordneten Ziel der Nachhaltigkeitspolitik, natürliche Ressourcen zu schonen (vgl. Kap. 2.2). Plattenbauten sollten jedoch nicht nur als potenzielle Spendergebäude für RC-Baustoffe bzw. Betonsplittte betrachtet werden (vgl. Kap. 9), sondern in erster Linie als anpassungsfähige Rohbaustuktur und Spenderobjekte für RC-Betonelemente.

Dass Plattenbauten reformierbar sind, belegen die in jüngster Vergangenheit vielerorts realisierten Teiltrückbauten zumeist gekoppelt mit Modernisierungs- und Sanierungsmaßnahmen des verbleibenden Bestandes. Die von der Autorin herausgegebenen Anwenderkataloge sowie die in den Tagungsbänden „Alte Platte – Neues Design“²⁵⁴ enthaltenen exemplarisch vorgestellten Lösungen geben Aufschluss, Anregungen und Antworten für einen nachhaltigen Stadtumbau.

Ein Teiltrückbau kombiniert mit einem Umbau des verbleibenden Baubestandes – nach aktuell geltenden bautechnischen, v. a. energetischen Anforderungen – unter Berücksichtigung heutiger Wohnpräferenzen inkl. verbessernder Maßnahmen des Wohnumfeldes im Kontext der Verwendung rückgebauter Betonfertigteile bietet Ansätze, die weder mit traditionellen Sanierungs- und Modernisierungs- noch mit Abbruchmaßnahmen erfüllt werden können. Dies zwingt alle am Bau Beteiligten zur Umkehr, zur Abwehr des Gedankens Leerstandsprobleme ausschließlich mittels Abbrüchen zu begegnen und neue Gebäude oder bauliche Anlagen ausnahmslos mit neuen Baumaterialien und –produkten zu errichten. Hierbei geht es demzufolge nicht nur um das Bauen im Bestand, sondern zugleich um das Bauen mit dem Bestand (Produktrecycling).

Dem Produktrecycling kommt eine herausragende Bedeutung zu, weil Wertschöpfung erhalten bleibt und somit die eingesetzten Stoffe (Baustoffe und Energie) vollständig oder zumindest weitgehendst vollständig ausnutzbar sind. Wie in Kap. 6 und 2.3 aufgezeigt handelt es sich hierbei um qualitativ hochwertige, junge Betonfertigteile mit einem Baualter von etwa 10 bis 40 Jahren.

²⁵⁴ Mettke, Angelika (Hrsg.): Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendungen – Anwenderkatalog I und II, BTU Cottbus, 2001 und 2003; Mettke, Angelika (Hrsg.): Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt, Tagungsband, Fachtagung 16./17.02.2005, BTU Cottbus, 2005; Mettke, Angelika (Hrsg.): Alte Platte – Neues Design, Teil 2, Die Platte – wrapped – verpackt, Tagungsband 01./02.03.2007, BTU Cottbus, 2008

Außerdem trägt das Bauteilrecycling dem Vermeidungsgedanken von Bauabfällen gem. § 4 (1) Satz 1 KrW-/AbfG Rechnung und entspricht in optimaler Weise der in der europäischen Abfallrahmenrichtlinie vorgegebenen Hierarchie.

Neben dem Erhalt der Wertschöpfung wird eine Wertsteigerung durch das Bauteilrecycling ermöglicht, wie die bereits realisierten Demonstrationsvorhaben zeigen.

Trotz der vielerorts erheblichen Anstrengungen von fortschrittlichen Planern und Bauherren, der geschaffenen wissenschaftlichen Grundlagen zur Gebrauchstauglichkeit der rückgebauten Betonbauteile sowie der Öffentlichkeitsarbeit durch die Autorin steht man bei der Umsetzung des Bauens mit gebrauchten Betonfertigteilen immer noch mit Skepsis gegenüber. Einzelne Lösungen und mehrere Pilotprojekte gibt es zwar, aber von einer industriellen Umsetzung ist man noch weit entfernt. Daher sind augenscheinlich für das Bauen mit recycelten Betonbauteilen folgende grundsätzlichen Fragekomplexe zu diskutieren:²⁵⁵

- „Platte resp. Großtafel = Imageproblem?“

Hat das Bauen mit der Platte ein begründetes Imageproblem?

- „Bauen im System – Bauen mit System“

Welche Veränderungen sind beim Entwurf und bei der Ausführung anders im Vergleich zum Bauen mit neuen Betonbauteilen? Ist die Kreativität des Planers durch die Verwendung der (Alt-)RC-Elemente eingeschränkt?

- „Mehrwert statt Einheitswert“

Welche Chancen hat das Produktrecycling unter ganzheitlicher Betrachtungsweise (ökonomisch, technologisch, logistisch, ökologisch, sozial, rechtlich)? Dabei dominieren gegenwärtig die Fragen des Bauherrn, in welcher Höhe Kosten eingespart werden können.

In der Geschichte der Architektur und im Städtebau kann nachgewiesen werden, dass die Wiederverwendung von Bauteilen ein uraltes Prinzip ist. Beispielhaft seien Kirchenbauten oder ganze Stadtanlagen wie die von Troja genannt, die als Rohstoffquelle für neue Bauten dienten.

Für den Wiederaufbau der Städte und Dörfer v. a. nach dem 2. Weltkrieg sind aus dem Trümmern Ziegel, Balken u. a. Bauteile geborgen und wieder verwendet worden. Das wirtschaftliche Handeln wurde durch den Mangel an Baumaterialien geprägt und Wiederverwendungs- und Wiederverwertungsmaßnahmen sind nicht in Frage gestellt worden. In der Neuzeit entwickelte sich v. a. auf der Grundlage des Brundtland-Berichtes²⁵⁶, der Studie von Meadows²⁵⁷ und der Enquete Kommission des 12. Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt“ das Gedankengut des nachhal-

²⁵⁵ Uhl, Markus: Bauen in und mit dem Bestand „Vereinshaus Fußballverein Gröditz – Metamorphose der Platte“, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Hrsg. Angelika Mettke, 2005, S. 161 f.

²⁵⁶ Brundtland-Report (1987): „Unsere gemeinsame Zukunft“ („Our common Future“); bedeutend für die internationale Debatte über Entwicklungs- und Umweltpolitik mit Prägung des Leitbildes der nachhaltigen Entwicklung „die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden“. „Eine zukunftsfähige Entwicklung ist ein Prozess der Veränderung, in dem die Nutzung der Ressourcen, ... konsistent gemacht werden mit den zukünftigen und gegenwärtigen Bedürfnissen.“

²⁵⁷ Im Auftrag des Club of Rome führten Dennis L. Meadows und seine Mitarbeiter eine Systemanalyse mit unterschiedlich hoch angesetzten Rohstoffvorräten der Erde durch und zeigten „Die Grenzen des Wachstums“ auf (1972).

tigen Handelns („sustainable development“), das heute im Bausektor im Umgang mit Baustoffen, Bautechnologien und in der Immobilienwirtschaft seine Bestimmung findet.

Genau an dieser Stelle setzen die Überlegungen zur Nachnutzung von rückgebauten / demonierten Betonelementen an. Nachfolgend wird aufgeführt, wo Anwendungsmöglichkeiten bestehen, welche Maßnahmen realisiert wurden oder kurz vor ihrer Realisierung stehen oder getestet worden sind. Durch die wissenschaftlich begleitenden Untersuchungen an Fallbeispielen können o. a. Fragestellungen beantwortet und noch bestehende Hemmnisse identifiziert werden.

7.2 Entscheidungsfindung zur Wieder- und / oder Weiterverwendungseignung

Bei der Bewertung zur Wiederverwendungseignung (Produktrecycling) handelt es sich um einen mehrstufigen Entscheidungsprozess, der eine bestimmte Reihenfolge in seiner Abarbeitung erfordert (s. Abb. 7.1). Die grundsätzliche Vorgehensweise ist durch einen mehrstufigen Problemlösungsprozess gekennzeichnet.

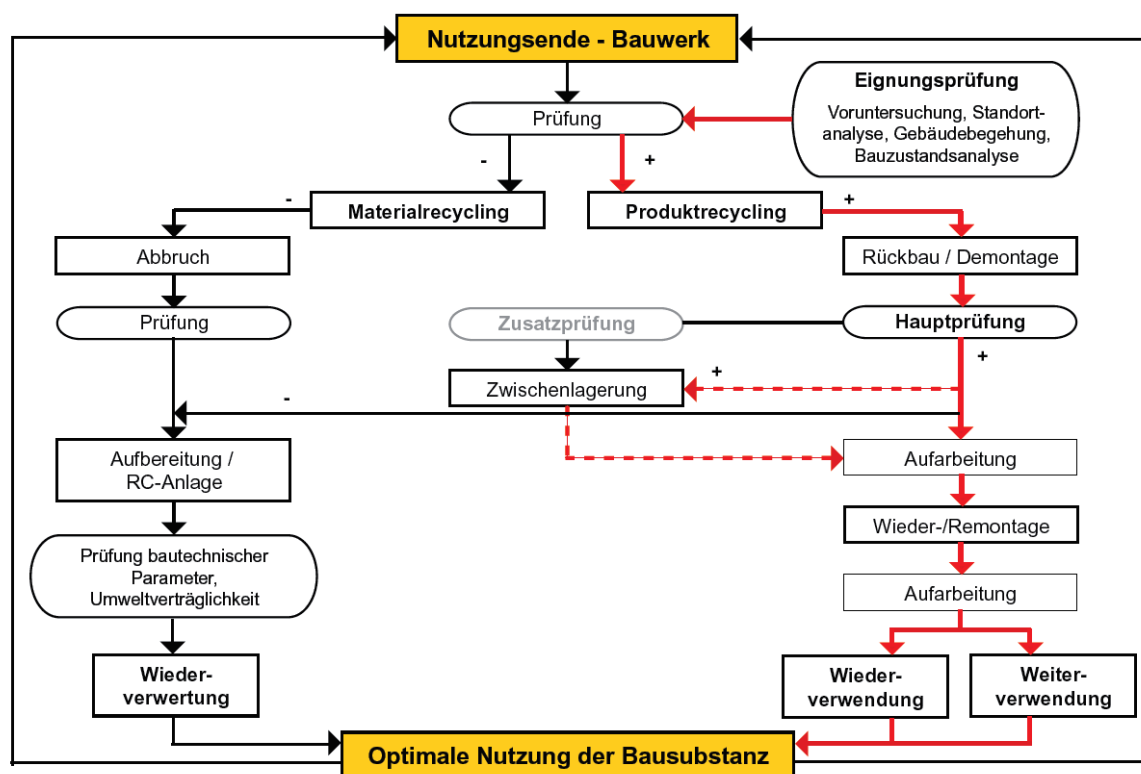


Abb. 7.1: Möglichkeiten zur optimalen Nachnutzung von Gebäuden und baulichen Anlagen²⁵⁸

Diese methodische Herangehensweise hat sich seit mehr als 10 Jahren im Rahmen der eigenen Forschungsarbeit bewährt bzw. als richtig herausgestellt. Die Praktikabilität des Modells zur Entscheidungsfindung auf Wieder- und / oder Weiterverwendungsfähigkeit wurde an einer Vielzahl von Beispielen nachgewiesen.

²⁵⁸ Mettke, Angelika: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 155

Die Eignungsprüfung beinhaltet Untersuchungen zum Objekt sowie Untersuchungen zum Bauwerksteil und Bauelement. D. h. der Bauzustand der Betonelemente und das verbaute mögliche Wieder- und / oder Weiterverwendungspotenzial (nach Sortiment untergliedert) wird im eingebauten Zustand bewertet.

Die Haupt- und Zusatzprüfung wird am demontierten Bauelement durchgeführt. Die Hauptprüfung trägt den Einflüssen der Demontage Rechnung. Die Bezeichnung ist richtig gewählt, da die Qualität der Rückbautechnologie maßgeblich den Bauzustand der Bauelemente beeinflusst.

Da sich eine Nachnutzung der rückgebauten Betonelemente nur im Idealfall unmittelbar der Demontage anschließt, wird eine Zusatzprüfung in der Regel erforderlich. Die Zusatzprüfung an den Betonelementen sollte direkt vor ihrer (Wieder-) / Remontage auf dem Zwischenlagerplatz u./o. auf der Remontagebaustelle erfolgen.

Eine zusammenfassende Übersicht zu den Entscheidungsstufen der Bewertung zur Wiederverwendungseignung schon einmal in Nutzung gewesener Betonteile gibt Tab. 7.1.

Tab. 7.1: Entscheidungsstufen zur Wiederverwendungseignung von Betonelementen²⁵⁹

UNTERSUCHUNGEN	im eingebauten Zustand; vor der Demontage:	1. <i>Nullstufe (als vorgeschaltete Stufe):</i> Voruntersuchung Feststellen der Demontierbarkeit des Gebäudes (Zugänglichkeit, Konstruktionstyp etc.)
		2. <i>Entscheidungsstufe I:</i> Eignungsprüfung Beurteilung des Bauzustandes der Betonelemente (visuelle und bauteildiagnostische Analyse); vorläufige Bewertung der Wiederverwendungsfähigkeit; entsprechende Kennzeichnung der Betonelemente wird empfohlen
	im ausgebauten Zustand; nach der Demontage:	3. <i>Entscheidungsstufe II:</i> Hauptprüfung Erfassung evtl. Beschädigungen und/oder Schäden infolge des Demontageprozesses (Risse, Kantenabbrüche, Verbindungsmittel, Tragösen etc.); vorläufige Bewertung der Wiederverwendungsfähigkeit, wenn Transport der Bauelemente zur Remontagebaustelle erforderlich wird, ansonsten endgültige Bewertung der Wiederverwendungsfähigkeit, wenn Demontagebaustelle ist (Idealfall); endgültige Bewertung jeweils unmittelbar vor der Remontage
		4. <i>Entscheidungsstufe III:</i> Zusatzprüfung Erfassung evtl. Schäden und/oder Beschädigungen infolge weiterer TUL-Prozesse und/oder längerer Zwischenlagerung der Betonbauteile vor der sekundären Verwendung; endgültige Bewertung der Wiederverwendungsfähigkeit

Voraussetzung für den Zugang zur nächsten Stufe ist immer die Erfüllung der Parameter der vorangegangenen Stufen.

In Abb. 7.2 werden Bewertungs- und Prüfkriterien zu bauwerksdiagnostischen Untersuchungen aufgezeigt, die allgemein gelten, um die Gebrauchseigenschaften der Betonelemente definieren zu können (vgl. Kap. 6).

²⁵⁹ Mettke, Angelika: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 154 ff.

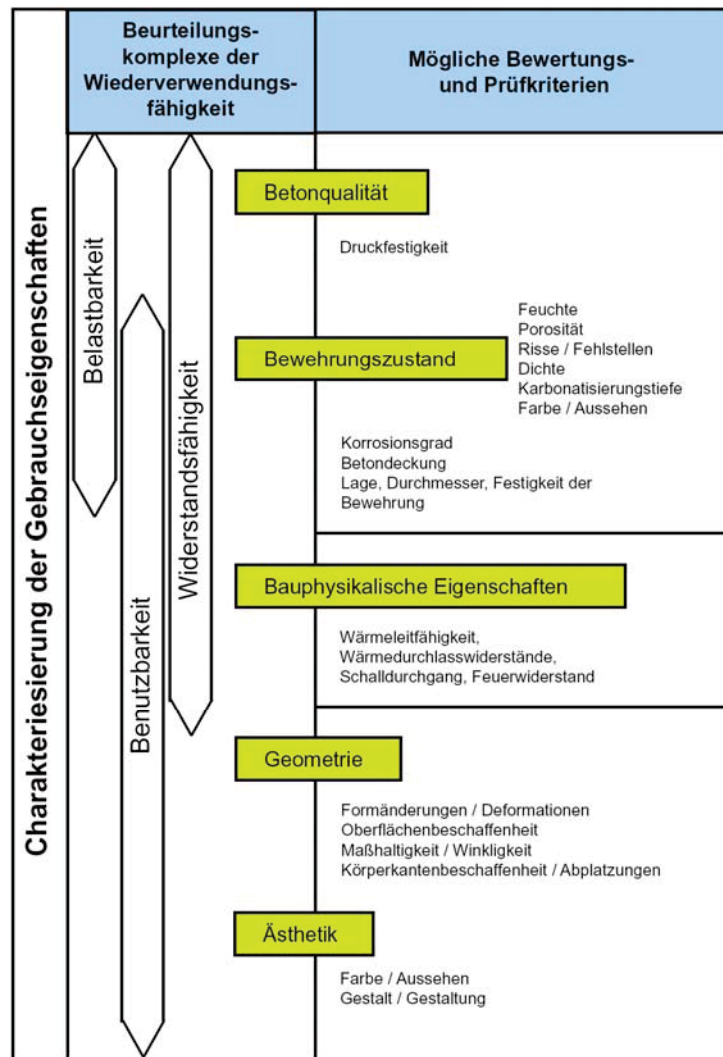


Abb. 7.2: Untersuchungsprogramm Bauzustand Betonelemente²⁶⁰

Die visuelle Einschätzung zur Bauzustandsermittlung unter Zuhilfenahme des Bauzustandsstufenkatalogs liefert erste Aussagen. Sie kann als Grundlage zur Selektion relevanter Prüfkriterien, die von den Anforderungen der sekundären Nutzung abhängen, herangezogen werden. Auch und gerade aus Wirtschaftlichkeitsgründen ist das Untersuchungsprogramm je nach sekundärem Verwendungszweck zu spezifizieren. Bspw. spielen bauphysikalische Eigenschaften oder die Ästhetik bei der Weiterverwendung der Betonplatten im Deichbau keine Rolle (vgl. Kap. 7.5).

7.3 Konsequenzen für die Wiederverwendungseignung

Eigene, vor 10 Jahren durchgeführte baustoffliche und –technische Untersuchungen an Altbetonfertigteilen am Sortiment P2-Bauserie ergaben, dass sich für Wiederverwendungen insbesondere die tragenden Innenwände und die Deckenplatten von Normalgeschossen eignen.²⁶¹ Diese Erkenntnis gilt heute als gesichert – auch für andere Plattenbautypen (vgl. Tab. 7.2). bis auf die Trennwände und diejenigen Außenwandplatten, in denen Kamilit als Dämmstoff verwendet wurde, ist prinzipiell das

²⁶⁰ Mettke, Angelika: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 117

²⁶¹ Mettke, Angelika; Thomas, Cynthia: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, Materialien zur Abfallwirtschaft, 1999, S. 29 ff.

gesamt verbaute Betonelementesortiment nachnutzbar (vgl. Tab. 7.3). Aufgrund ihrer Geometrie und Gestalt wird die Nachnutzung von bspw. Treppenelementen, Badzelle und Dachkassettenplatten auf spezielle Anwendungsgebiete beschränkt bleiben.

Tab. 7.2: Eignung der Bauteile zur sekundären Verwendung

Betonelemente – Sortiment	Wiederverwendungseignung	Begründung/ Bemerkungen
Deckenplatten	geeignet	- hergestellt in Stahl- oder Spannbeton - Einsatzmöglichkeit auch für Deckenplatten mit Öffnungen
Innenwände	geeignet	- ohne Tragbewehrung - Einsatzmöglichkeit auch für Innenwände mit Öffnungen
Dachkassetten	bedingt geeignet	- ungünstige konstruktive Ausbildung für Einsatz bspw. im HWS - mögliche Belastung durch Schadstoffe (PAK)
Drempel - Wände	bedingt geeignet	- zu geringe Anzahl in Spendergebäuden
Außenwände	geeignet bis bedingt geeignet und nicht geeignet	- ungünstige konstruktive Ausbildung (große Öffnungen) - mögliche Belastung durch Schadstoffe (Kamilit)
Trennwände	nicht geeignet	- meist durch Rückbau beschädigt (zu geringe Bauteildicke) - unbewehrt, niedrige Betonfestigkeitsklasse
Loggia	bedingt geeignet	- Bodenplatte geeignet - in Brüstung u. Seitenwänden mögliche Belastung durch Asbest
Kellerwände	bedingt geeignet	- geringe Anzahl

Die durchgeführten Untersuchungen belegen zweifelsfrei, dass demontierte Betonelemente aus Plattenbauten hohe Gebrauchswerteigenschaften aufweisen und bei sachgemäßem Rückbau, Transport und Zwischenlagerung gebrauchsfertig in Rohbaukonstruktionen verbaut oder anderweitig nachgenutzt werden können. Der gegenwärtige rechtliche Rahmen wird im nachfolgenden Kap. 7.4 aufgezeigt und diskutiert.

Eine Betrachtung zum Wiederverwendungspotenzial erfolgt im Kap. 7.5.2.

7.4 Rechtliche Aspekte der Wieder- oder Weiterverwendung von gebrauchten Betonelementen

Gegenwärtig gibt es keine allgemein anerkannten Regeln der Technik für den Einsatz von gebrauchten Betonelementen / RC-Betonelementen. Deshalb bedürfen sie entweder

- einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung oder
- eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses oder
- einer Zustimmung im Einzelfall.

Infolgedessen kann zum jetzigen Zeitpunkt davon ausgegangen werden, dass der Genehmigungsaufwand für Wieder- oder Weiterverwendungen hoch und zeitintensiv ist im Vergleich zu Genehmigungen für herkömmliche Neubauten.

Juristische Gutachten²⁶² belegen, dass es sich bei den durch Rückbau anfallenden Betonelementen nicht um Abfälle handelt, sondern um Produkte und damit um Wirtschaftsgut. Neben der abfallrechtlichen Prüfung wurde geprüft, ob die Betonplatten den bauordnungsrechtlichen Anforderungen entsprechen. Bspw. regelt die Brandenburgische Bauordnung (BgbBO) in § 20, dass bestimmte Gegenstände unter bestimmten Voraussetzungen als Bauprodukte verwendet werden dürfen. Es wird dabei insbesondere auf die Richtlinie 89/106/EWG (Bauproduktenrichtlinie) verwiesen. Damit lassen sich die Bauprodukte in fünf Gruppen unterteilen:

a) *geregelte Bauprodukte (Bauregelliste A Teil 1)*

Es handelt sich hierbei um solche Bauprodukte, für die es allgemein anerkannte Regeln der Technik gibt, die in der Bauregelliste bekannt gemacht worden sind und die von diesen nicht wesentlich abweichen.

b) *nicht geregelte Bauprodukte (Bauregelliste A Teil 2)*

Diese Bauprodukte weichen wesentlich von den in der Bauregelliste A, Teil 1 bekannt gemachten technischen Regeln ab. Hinsichtlich der geregelten Bauprodukte ist zu differenzieren, ob und inwieweit hierfür ein Verwendbarkeitsnachweis erforderlich ist.

c) *nicht geregelte Bauarten (Bauregelliste A Teil 3)*

d) *Verkehrsfähige und frei handelbare Bauprodukte (Bauregelliste B, Teil 1 und 2)*

Es handelt sich hierbei um Bauprodukte, die nach Vorschriften der EU-Mitgliedsstaaten und der Vertragsstaaten des Abkommens über den europäischen Wirtschaftsraum in Verkehr gebracht und gehandelt werden dürfen. Dies wird durch das CE-Zeichen nachgewiesen.

e) *Sonstige Bauprodukte (Bauregelliste C)*

Enthält Bauprodukte, für die es weder technische Bestimmungen noch allgemein anerkannte Regeln der Technik gibt und die für die Erfüllung bauordnungsrechtlicher Anforderungen nur untergeordnet von Bedeutung sind.

Im Hinblick auf die Wiederverwendung ist die Frage entscheidend, ob die gebrauchten Betonteile Bauprodukte sind, da sie erst mit dem Rückbau von Gebäuden entstehen und nicht vorrangig für ihre neue Verwendung hergestellt werden. Diese Frage kann im Sinne der Wiederverwendung beantwortet werden, da der krangeführte Rückbauprozess so gestaltet ist, dass die Betonplatten als wiederverwendungsfähige Bauelemente erhalten bleiben. Dem gegenüber ist es möglich, den Prozess des Rückbaus inkl. der Entsorgung so zu gestalten, dass die Wiederverwendung der Platten nicht möglich ist.

Im Weiteren ist zu klären, ob die vom Hersteller erforderliche Übereinstimmungserklärung abgegeben werden kann. Voraussetzung dafür wiederum ist, dass eine werkseigene Kontrolle stattfindet.

²⁶² Leitzke, Claus: Rechtliche Betrachtung von Rückbauprojekten, Gutachten im Auftrag der Fachgruppe Bauliches Recycling, BTU Cottbus, 2001; Ehlers, Benjamin: Rechtliche Aspekte der Wiederverwendung, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design“ Teil 2, Hrsg. Angelika Mettke, 2007, S. 203 ff.

EHLERS²⁶³ verdeutlicht, dass es zwar ungewöhnlich ist, die Rückbaustelle als Produktionsstätte zu werten, aber es sprechen auch keine Argumente dagegen.

Insofern gilt:²⁶⁴

1. Nicht von vornherein wird ausgeschlossen, dass rückgebaute Betonfertigteile auch als geregelte Bauprodukte (nach § 20 Abs. 1 Nr. 1 BgbBO) zugelassen werden können. Das betrifft v.a. Deckenplatten und ehemals tragende Innenwände, da sie sich der Ziffer 1.6.1 der Bauregelliste grundsätzlich zuordnen lassen. Das erforderliche Übereinstimmungszertifikat setzt jedoch die Übereinstimmung mit den maßgebenden technischen Regeln, eine Eigenkontrolle sowie Fremdüberwachung voraus.
 - Die Übereinstimmung mit den maßgebenden technischen Regeln ist für Deckenplatten mehrerer Gebäudetypen (vgl. Kap. 6) auf der Basis aktueller DIN-Vorschriften geprüft worden. Inwieweit die ermittelten Ergebnisse ausreichend repräsentativ sind und ob sie ohne Weiteres auf das sämtliche Deckensortiment übertragbar sind, bleibt noch zu klären.
 - Hinsichtlich der Fremdüberwachung ist die hierfür notwendige Fachkenntnis nachzuweisen. Geklärt ist noch nicht, ob die Zertifizierungs- und Überwachungsstellen nach § 28 BgbBO und den anderen vergleichbaren Vorschriften der Länder diese aufweisen. Insoweit ist zunächst davon auszugehen, dass Überwachungsstellen weiterer Ausbildung bedürfen.
 - Die Eigenkontrolle oder sog. werkseigene Produktionskontrolle setzt bereits besondere Maßnahmen auf der Rückbaubaustelle voraus (vgl. Entscheidungsstufen zur Wiederverwendung, Kap. 7.2), die bisher nicht verbindlich geregelt sind. Insoweit empfiehlt sich eine Ergänzung der Anlage 0.3 der Bauregelliste A, um eine Produktionskontrolle für rückgebaute Bauteile auf der Baustelle zu standardisieren.
2. Hinsichtlich der anderen hauptsächlich anfallenden Betonfertigteile beim Rückbau (v.a. Außenwände, Dachkassettenplatten) können noch keine abschließenden Aussagen gemacht werden. Hier sind weitergehende Forschungen erforderlich.
3. Ansonsten kommt für die übrigen Betonfertigteile der Nachweis der Verwendbarkeit im Einzelfall (nach § 23 BgbBO) in Betracht.
4. Teilweise entfällt eine Nachweispflicht, wenn sich die gebrauchten Betonelemente bei entsprechender Zwecksetzung im Sinne der Ziffer 4.1 der Bauregelliste C einordnen lassen.

Es lässt sich demnach schlussfolgern, dass gebrauchte Betonelemente grundsätzlich Bauprodukte sind.

Die Überprüfung, ob die gebrauchten Betonelemente den technischen Regeln der Bauregelliste entsprechen, ist also eine technische Frage. Deshalb ist es wichtig, alle diesbezüglich durchgeführten

²⁶³ Ehlers, Benjamin: Rechtliche Aspekte der Wiederverwendung, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Teil 2“, Hrsg. Angelika Mettke, 2007, S. 205

²⁶⁴ nach Leitzke, Claus: Rechtliche Betrachtung von Rückbauprojekten, Gutachten im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, 2001

Untersuchungen zusammenzufassen, um zu prüfen, ob es möglich ist, auf gleichartig produzierte Alt- bzw. RC-Betonfertigteile und deren Trageverhalten / Sicherheit / Dauerhaftigkeit zu schließen. Bei Übereinstimmung mit den in der Bauregelliste A genannten Vorschriften müsste dann aber nochmals ein Übereinstimmungsnachweis geführt werden.

Es besteht also die grundsätzliche Frage, wie für gebrauchte Betonelemente ein Übereinstimmungsnachweis anhand bauaufsichtlich eingeführter technischer Baubestimmungen geführt werden kann.

Das Sächsische Staatsministerium des Innern hatte im Jahre 2001 einen entsprechenden Richtlinienentwurf „Bauteilkreislauf von Fertigbauteilen aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton“ vorgelegt, der mehrfach in der Fachkommission des Deutschen Instituts für Bautechnik beraten wurde mit dem Ergebnis, dass die Wiederverwendung von Betonbauteilen grundsätzlich über die Zustimmung im Einzelfall zu lösen ist.

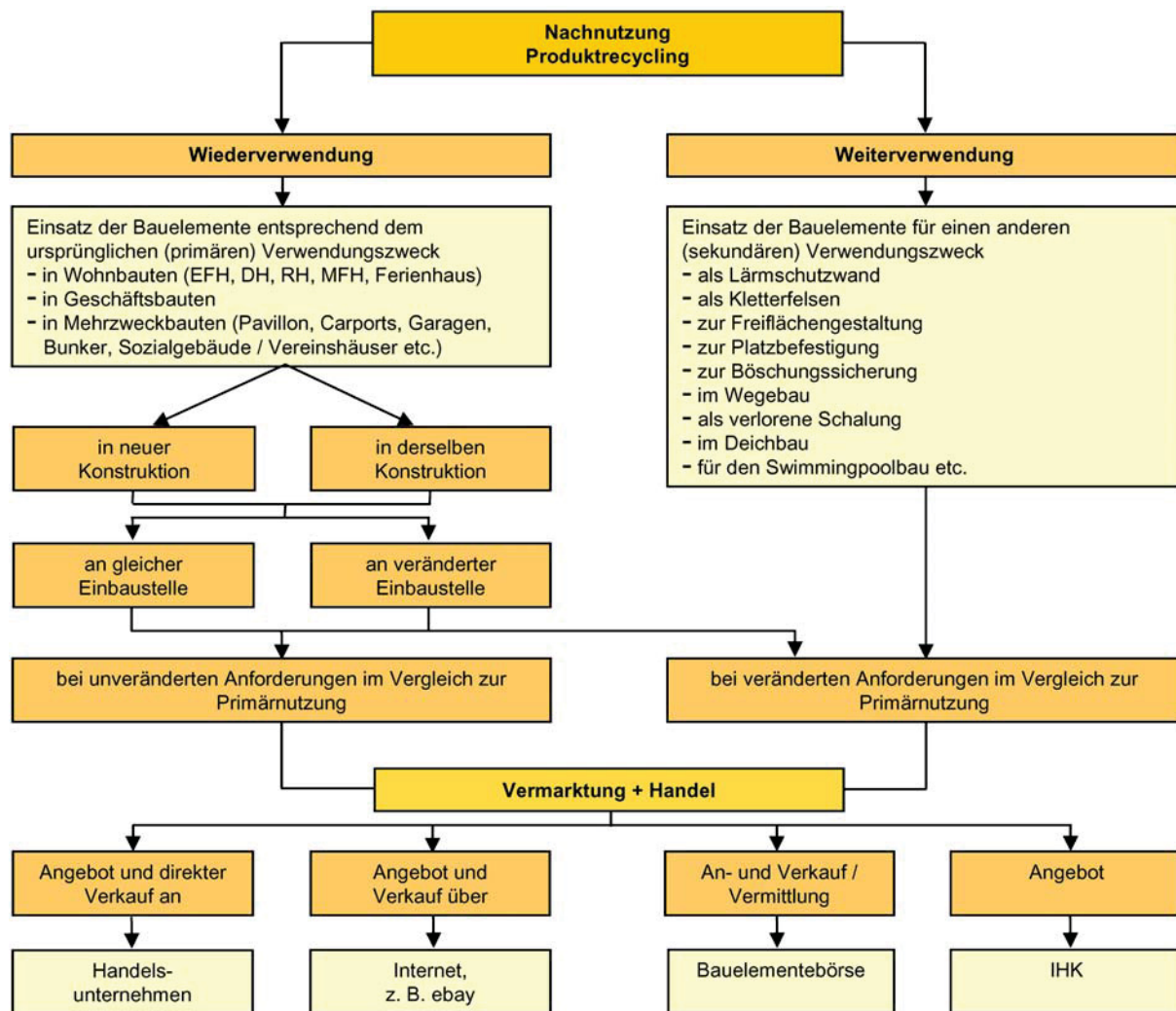
Der Freistaat Sachsen hat diese Richtlinie schließlich nicht eingeführt, weil sie zur Beurteilung der Verwendbarkeit nicht ausreichte auch im Hinblick auf den notwendigen Übereinstimmungsnachweis.

Die diesbezüglich eigenen Aktivitäten, eine Prüfnorm zu entwickeln, konnten im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsvorhabens „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“ gleichfalls nicht zum Abschluss gebracht werden. Hier ist unbedingt weitere Forschungsarbeit zu leisten, denn der hohe Aufwand für Genehmigungen im Einzelfall veranlasst die Mehrheit der Bauherren, wieder von ihrem geplanten Wiederverwendungsvorhaben Abstand zu nehmen.

7.5 Einsatzbereiche zur Nachnutzung von gebrauchten Betonelementen – Fallbeispiele, Bewertung

Rückgebaute Betonelemente sind in vielfältigen Bereichen einsetzbar, wie bspw.:

- im Hausbau (Einfamilien-, Doppel-, Reihen-, Ketten-, Mehrfamilien-, Ferienhäuser),
- im Mehrzweckbau (Pavillons, Garagen, Bunker),
- zur Landschafts- und Parkgestaltung sowie im Wohnumfeld (Treppen, Begrenzungselemente, gestalterische Elemente),
- für Maßnahmen im Umweltschutz (Lärmschutzwände, Deichbau),
- im Landwirtschaftsbau (Silos, Platzbefestigung) etc. (vgl. Abb. 7.3).



EFH Einfamilienhaus
DH Doppelhaus

RH Reihenhhaus
MFH Mehrfamilienhaus

Abb. 7.3: Zum Teil erprobte und denkbare Einsatzbereiche zur Nachnutzung von gebrauchten Betonelementen mit Möglichkeiten der Vermarktung

Dass gebrauchte Betonbauteile wieder- und weiterverwendbar sind, ist und wird durch Pilot-, Muster- oder Demonstrationsprojekte unter Beweis gestellt. Dazu zählen der Bau von

- Wohnhäusern in unterschiedlichen Wohnformen wie bspw.
 - das Doppel- (Zweifamilien-)haus in Eggesin (Mecklenburg-Vorpommern),
 - das Doppel- (Zweifamilien-)haus in Bröthen (Sachsen),
 - die Stadtvillen in Cottbus (Brandenburg),
 - das Einfamilienhaus in Leinefelde (Thüringen),
 - das Einfamilienhaus in Plauen (Thüringen),

- das Einfamilienhaus in Werneuchen (Brandenburg),
- die Einfamilienhaussiedlung in Brielow (Brandenburg),
- Mehrzweckbauten
 - die Trauerhalle in Mellingen (Thüringen),
 - die Garage in Mellingen (Thüringen),
 - die Carports in Waltershausen (Thüringen),
 - die Garage in Weißwasser (Sachsen),
 - das Vereinshaus in Plauen (Thüringen),
 - das Vereinshaus in Gröditz (Sachsen),
 - das Vereinshaus in Kolkwitz (Brandenburg),
- sowie der Einsatz von gestalterischen Elementen auf Freiflächen
 - die Außenanlage des Jugendzentrums in Leinefelde (Thüringen),
 - der Bau von Kletterfelsen und Boulderwänden (bundesweit),
 - im Freizeitpark Gröditz (Sachsen),
 - im Kindergarten in Leinefelde (Thüringen).









Die realisierten Pilotvorhaben sprechen für sich und belegen u. a., dass sie ökologisch und wirtschaftlich interessant sind im Vergleich zu herkömmlichen Neubauten. Die Kosten (KG 300 – Bauwerk, Bauwerkskonstruktion) konnten in Höhe von über 10 % bis ca. 30 % reduziert werden.







In Tab. 7.3 sind ausgewählte Beispiele für (Wieder-) Neubauten steckbriefartig zusammengefasst aufgezeigt. Darüber hinaus befinden sich – initiiert durch die Autorin - derzeit mehrere Projekte in der Planungsphase wie z. B. das Vorhaben „Santa Fe“ (Campingplatzanlage) am Gräbendorfer See und die grenzüberschreitenden Vorhaben. In Vororten von St. Petersburg und Kalingrad ist geplant, im Rahmen des „erschwinglichen Bauens“ mehrgeschossige Wohnhäuser zu bauen.

Die Aufzählung der erfolgreichen Umsetzungen darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass etliche begonnene Wiederverwendungsvorhaben nicht über die Planungsphase hinausgekommen sind. Da sich die Wohnungsgesellschaften und –genossenschaften zumeist in einer prekären wirtschaftlichen Situation befinden, sind Teilrückbaumaßnahmen und Nachnutzungskonzepte wieder verworfen und Abbrüche, die vergleichsweise kostengünstiger sind, realisiert worden.

Tab. 7.3: Beispiele für Wieder- / Weiterverwendungsmaßnahmen

Maßnahme	Vorhaben / Standort	Baujahr / Planer	Spender- gebäude	Transport- entfernung [km]	Wieder-/ Weiter- verwendung	Kenndaten	Kosten	
Hausbau		Doppelhaus Eggesin	1999 / Domizil Bauregie GmbH Greifswald	WBS 70, IW 64 , Eggesin	ca. 2 km	16 Wand- elemente	DH je WE: 172,90 m²/Wfl.	Remontage Rohbau: 284 €/m² Wfl.
		Zweifamilien- haus Bröthen	2001 / Bauingenieur- büro Haidan, Wittichenau	P2, Hoyerswerda	ca. 6 km	26 Wand- elemente, 50 Decken- platten	Wfl.: 274,2 m² (137,1 m² je WE)	1.279 €/m² Wfl. (schlüsselfertig)
		Stadtviellen Cottbus	2000/2001 / Architektur- büro Zimmermann und Partner, Cottbus	P2, Cottbus	Demontageort = Remontageort	274 Betonfertigteile	1.050 m² (13 WE)	Remontage Rohbau: 84 €/m² Wfl.; 1.149 €/m² Wfl. schlüsselfertig
		Einfamilien- haus Mehrow	2005 / CONCLUS Architekten, Berlin	WBS 70, Berlin- Marzahn	ca. 17 km	22 Wand- elemente, 27 Decken- platten	Wfl.: 212 m² (2 Etagen)	840 €/m² Wfl (kalkuliert, schlüsselfertig)
		Einfamilien- haus Werneuchen	seit 2005 / MWM objects freie Architek- ten , Dipl.-Ing. (FH) David Seidl, Erfurt	WBS 70, Berlin- Marzahn	ca. 15 km	2 Außen- wände, 7 Innenwände, 6 Decken- platten, 3 Dach- kassetten- platten	Wfl.: 145 m² (2 Etagen)	Remontage Rohbau: ca. 33.000 € (kalkuliert)
		Einfamilien- haus Plauen	2006 / Prof. Dr.-Ing. habil. W.R. Eisentraut, Berlin	IW 73, Plauen	ca. 2 km	17 Wand- elemente, 15 Decken- platten, 1 Treppen- element	Wfl.: 122 m²; GNF: 160 m²	~1.043 €/m² Wfl (schlüsselfertig)
		Einfamilien- haus Leinefelde	2006 / AG wbk 21, MWM objects freie Architek- ten , Dipl.-Ing. (FH) David Seidl, Erfurt	WBR Erfurt 82, Leinefelde	ca. 0,5 km	19 Wand- elemente, 26 Decken- platten	Wfl.: 106 m²	Rohbau: 50.000 €; 472 €/m² Wfl.
		Mehrfamilien- haus Mühlhausen	2007 / AG wbk 21, MWM objects freie Architek- ten , Dipl.-Ing. (FH) David Seidl, Erfurt	WBS 70, Leinefelde	ca. 28 km	28 Wand- elemente, 23 Decken- platten, 7 Treppen- elemente	Wfl.: 248 m² (2 Etagen)	Remontage Rohbau: 452 €/m² Wfl.
		Einfamilien- haussiedlung Brielow	2007 / Projektent- wicklung Mischker und Projektteam GmbH, Brandenburg	WBS 70, Berlin- Marzahn	ca. 100 km	Innenwände (geschnitten), Decken- elemente	Wfl.: 98 m² (eingesch.); Wfl.: 177 m² zweigesch.)	ab 59.000 €, Ausbauhaus ~620 €/m² Wfl. (855 €/m² Wfl schlüsselfertig)

Maßnahme		Vorhaben / Standort	Baujahr / Planer	Spender-gebäude	Transport-entfernung [km]	Wieder-/ Weiter-verwendung	Kenndaten	Kosten
Mehrzweckbauten		Trauerhalle Mellingen	2004/2005 / iff Weimar	WBR 80-E, Leinefelde	ca. 125 km	8 Giebelwände	GF: 68,45 m²	30 % Kosten-einsparung im Rohbau
		Garage Mellingen	2004/2005 / iff Weimar	WBR 80-E, Leinefelde	ca. 125 km	6 Außen-wände, davon 1 AW geschnitten, 4 Decken-platten	Versuchsbau (Witterung, Feuchtigkeit, Temperatur, Belüftung)	
		Carports Waltershausen	2006/2007 / Planungsgruppe Mitte GmbH (PGM), Dipl.-Ing. Arch. Norbert Sprinz, Gotha	WBR 80-E, Serie 6,3 t, Waltershausen	Demontageort = Remontageort	21 Innen-wände, 16 Decken-platten	16 Stellplätze	je Stellplatz: 2.400 €
		Garage Weißwasser	2007 / Dr. Rudolf Schmiedehausen, Cottbus Fa. Wolff Weißwasser	P2, 11-gesch., Weißwasser	ca. 3 km	5 Außen-wände, 8 Decken-platten, davon 4 Decken-platten als Bodenplatte	BGF: ca. 43 m² Remontagezeit: 3 h Dach als Satteldach ausgebildet 3 Stellplätze	Fundament- und Krankkosten: 800 €
		Vereinshaus VFC Plauen e.V.	2006/2007 / Bauplanung Plauen GmbH	IW 73/6, Plauen	ca. 7 km	49 Außen-wände, 14 Innen-wände, 11 Keller-wände, 145 Decken-platten	BGF: 400 m²	ca. 600.000 €
		Vereinshaus Sportverein 1911 Gröditz e.V.	2007/2008 / Architekturbüro Markus Uhl, Berlin	WBS 70 Typ Dresden, Gröditz und Schultyp 2MP, Typ Dresden Gröditz	ca. 2,5 km	13 Außen-wände, 25 Innen-wände, 35 Decken-platten; 46 Decken-platten	BGF: 1.090 m²	Rohbau: 298.224 € schlüsselfertig: 850 €/m²
		Vereinshaus Kolkwitzer Sportverein 1896 e.V.	2008/2009 / (im Bau) Ingenieurbüro P. Jähne, Cottbus	P2, 8- und 11-gesch., Cottbus	ca. 10 km	20 Außen-wände, 20 Innen-wände, 40 Decken-platten	BGF: 463 m² (NF: 410 m²)	350.000 €
Umweltbauten		Versuchsdeichkörper Tagebau Welzow Süd	2006–2008 / BTU Cottbus, FG Bauliches Recycling	WBS 70, Dresden	ca. 90 km	21 Decken-platten (geschnitten)	Grundfläche Deich: 40 x 40 m; Verwendung für: Oberflächen-, Innendichtung, Überströmstrecken	s. Kap. 7.6.4

Maßnahme	Vorhaben / Standort	Baujahr / Planer	Spender-gebäude	Transport-entfernung [km]	Wieder-/ Weiter-verwendung	Kenndaten	Kosten
Freiraum- und Landschaftsplanung		2003 / BTU Cottbus, FG Bauliches Recycling; Ingenieurbüro Jähne & Göpfert GmbH, Cottbus	P2, Cottbus	ca. 8 km	10 Decken- platten	GF: 100 m ² (10 x 10 m)	
		2005-2008 / Schwarz & Partner, Landschafts- architekten, Berlin	Schultyp 2MP, Typ Dresden, Gröditz	Demontageort = Remontageort	11 Außewand- blöcke, 11 Sockel- platten, 44 Innenwand- blöcke, 9 Innenwand- rahmen, 42 Decken- platten	Gesamtfläche ca. 16.000 m ²	
		2006/2007 / Dipl.-Ing. Ottmar Stadermann, Hausen, in Zusammen- arbeit mit dem Kunst- verein	WBR Erfurt, Leinefelde	Demontageort = Remontageort	diverse Innenwände		
		2002 Büro für Landschafts- planung birkigt- quentin, Adelebsen	Leinefelde	Demontageort = Remontageort	Deckenplatten, z.T. geschnit- ten	als Begren- zungselemente, Treppenele- mente u. ä.	
		2003 Brand-Rock Felsenbau	P2, Cottbus	Demontageort = Remontageort	Balkondecken- platten		
		2002 Architektur- büro Skirl+Heinrich Stollberg	Leipzig- Grünau	Demontageort = Remontageort	Loggiabrüs- tungsplatten, Deckenplatten		260.000 €

7.6 Einsatz von gebrauchten Betonelementen im Deichbau – ein Beitrag zum Hochwasserschutz

7.6.1 Einleitung

Ein sinnvolles sekundäres Anwendungsgebiet für RC-Betonelemente wird im Deichbau gesehen.

Der Forschungsansatz²⁶⁵ macht sich der großen Anzahl der leerstehenden Plattenbauten in Ostdeutschland und der bei Teilrückbaumaßnahmen anfallenden Betonelemente zunutze und verknüpft diese Situation mit dem dringenden Handlungsbedarf im Katastrophenschutz zur Ertüchtigung bestehender sowie neu zu bauender Deiche.

Die vergangenen Hochwasserereignisse führten immer wieder zu teils verheerenden Schäden in Milliardenhöhe durch Überschwemmungen und forderten Menschenleben.

Erinnert sei an:

- das Oderhochwasser im Juli 1997 mit einem Gesamtschaden von ~ 10 Mrd. DM; in Polen 54 Tote, in Tschechien 60 Tote; Evakuierung von ca. 195.500 Menschen und
- die Flutkatastrophe im Sommer 2002 an Elbe, Mulde und Donau mit über 9 Mrd. € für unmittelbare Sachschäden; allein in Deutschland 21 Tote.²⁶⁶

Besonderes Gewicht liegt deshalb beim Deichbau darin, dass er eine ausreichende Dichtigkeit und Stabilität aufweist. Mit dem Einsatz von Betonelementen aus Plattenbauten, als Alternative zu traditionellen Materialien und Produkten, wie z. B. im Vergleich zur Spundwand, werden u. a. folgende Vorteile verbunden:

- in der Verknüpfung zweier Aufgaben – wie o. a. – : Hochwasserprävention auf der einen Seite und sinnvolle Verwendung demontierter Betonfertigteile auf der anderen Seite,
- im verbesserten Durchfeuchtungsschutz und der damit verbesserten Stabilität der Deiche,
- in einer verbesserten Auslastung der Langlebigkeit der Betonbauteile,
- in der Substitution von neuen Produkten,
- im wirtschaftlichen Vorteil gegenüber traditionellen Deichbauausführungen.

Gleichwohl wird dem Imageproblem der Platte begegnet. Der Einbau im Erdreich ist nicht sichtbar; erfüllt aber eine wichtige Funktion – vorausgesetzt der rechnerische und experimentelle Nachweis wird erbracht.

Außerdem erreichen die für den Rückbau in Anspruch genommenen staatlichen Fördergelder aus dem Programm „Stadtumbau Ost“ oder anderen Programmen eine höhere Effizienz.

²⁶⁵ Forschungsvorhaben: Deichbau – Nutzung ausgebauter großformatiger Betonelemente aus dem Wohnungsbau für den Hochwasserschutz, Kurztitel: Pro Altbeton im Hochwasserschutz, Projektleitung: Mettke, Angelika, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling

²⁶⁶ www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3019.pdf, S. 37; aufgerufen am 24.06.2008

Für den Einsatz der gebrauchten Betonelemente im Deichbau wurden drei grundsätzliche Varianten entwickelt und getestet:

- die wasserseitige Auflage der Betonelemente entsprechend der Böschungsneigung (Oberflächendichtung)
- der senkrechte Einbau der Elemente als Kern – resp. Innendichtung und
- Überlauf- / Überströmstrecken.

Die konstruktiven Einsatzmöglichkeiten der Betonelemente im Deichbau sind durch verschiedene Laborversuche gestützt im Großversuch / im Feld an einem Prototyp im Maßstab 1 : 1 getestet worden. Nur dadurch lassen sich zuverlässige Aussagen zum Materialverhalten unter realen Bedingungen treffen.

7.6.2 Zur Verfügung stehendes und geeignetes Sortiment an RC-Betonelementen

- Generelle Eignung

Aus dem Sortiment der verbauten Betonelemente im Plattenbau eignen sich generell Deckenplatten (DP) und die ehemals tragenden Innenwände (IW) für Wieder- und Weiterverwendungsmaßnahmen (vgl. Kap. 6, 7.3). Aufgrund des Anwendungsumfanges der Gebäudeserien P2 und WBS 70 (in WBS 70 wurden 644.900 Wohnungen, in P2 363.600 Wohnungen gebaut (Stand 1996); vgl. Tab. 2.1) wird davon ausgegangen, dass aus diesen Serien die meisten RC-Betonelemente stammen werden.

Der Anteil der DP und IW an der Gesamtzahl der im Gebäude verbauten Betonelemente beträgt bspw. beim P2/5 ca. 37 % und beim WBS 70/11 ca. 30 %. Beim WBS 70 sind überwiegend 3,00 m breite Deckenplatten eingesetzt worden. Daher vermindert sich der prozentuale Anteil beim WBS 70 bezogen auf die Anzahl der Betonelemente gegenüber dem P2-Typ.

- Geometrie

Der Vorteil der vorzugsweise zur Weiterverwendung vorgesehenen Betonplatten aus geometrischer Sicht besteht darin, dass die Dicke aller Deckenplatten 14 cm und die aller Innenwände 15 cm beträgt. In den Abmessungen variieren die Betonelemente. Das hauptsächliche Sortiment für beide Beispielgebäude mit drei Eingängen ist in nachstehender Tab. 7.4 zusammengefasst bzw. gegenübergestellt.

Im P2-Typ sind bspw. 49 verschieden ausgeführte Innenwände und 14 unterschiedlich hergestellte Deckenplatten verbaut²⁶⁷.

²⁶⁷ Mettke, Angelika; Thomas, Cynthia: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, 1999, S. 25

Tab. 7.4: Geometrische Parameter ausgewählter Decken und Innenwände aus WBS 70/11 und P2/5 und deren Anteil an der Gesamtzahl der verbauten Betonelemente im jeweiligen Gebäudetyp (Wieder- u./o. Weiterverwendungspotenzial)²⁶⁸

Gebäudetyp	Gesamtanzahl der verbauten DP	DP Breite × Länge × Dicke [mm]	Anzahl DP an der Gesamtzahl DP [Stck.]	Anteil DP an Gesamtzahl DP [%]
WBS 70/11	471	5.980 × 2.980 × 140	396	84,1
P2/5	348	5.970 × 1.785 × 140 3.570 × 1.785 × 140	72 172	20,7 49,4
Gebäudetyp	Gesamtanzahl der verbauten IW	IW Breite × Länge × Dicke [mm]	Anzahl IW an der Gesamtzahl IW [Stck.]	Anteil IW an Gesamtzahl IW [%]
WBS 70/11	344	5.810 × 2.630 × 150 4.610 × 2.630 × 150	165 (dav. 69 o. Tür) 69 (dav. 33 o. Tür)	48 20,1
P2/5	183	3.580 × 2.635 × 150	89 (dav. 41 o. Tür)	48,1

Der prozentuale Anteil der verbauten Betonelemente lässt Rückschlüsse bezüglich des verfügbaren Potenzials zu, kann jedoch lediglich als Orientierung dienen. Eine objektspezifische Erfassung ist unumgänglich.

- Betontechnische Daten

Die Parameter, die für den Einsatz der RC-Betonelemente im Deichbau je nach Einsatzort und der daraus abgeleiteten Umweltbedingungen (Expositionsklassen) relevant sind, sind

- Betondruckfestigkeit,
- Betondeckung und Karbonatisierung,
- Permeabilität, totale Porosität, Wassereindringtiefe,
- Widerstand gegen Frosteinwirkung mit und ohne Taumittel,
- Säurewiderstand.

In Kap. 6 sind die Untersuchungsergebnisse dokumentiert. Daraus lässt sich ableiten, dass das untersuchte vorzugsweise zur Weiterverwendung geeignete Sortiment der DP und IW aus den Gebäudetypen WBS 70 und P2 für den Einsatz im Deichkörper zur Oberflächendichtung und Innendichtung verwendet werden kann. Tab. 6.7 differenziert den Einsatz des Sortiments entsprechend der Expositionsklasse. Die hohe Dichtigkeit der RC-Betonelemente mit Durchlässigkeitswerten von $k_f \sim 10^{-10}$ m/s und die geringe Wassereindringtiefe < 3 cm lieferten Anhaltspunkte für einen ausreichenden Widerstand gegenüber chemischen Angriffen. Da womöglich die verbauten Betonelemente im Deich bzw. auf dem Deich (Überlauf- / Überströmstrecken) oder am Deich (Deichwege) Wasser mit betonschädi-

²⁶⁸ zusammengefasst aus: Internes Arbeitspapier „Pro Altbeton zum Hochwasserschutz, Mettke, Angelika; Czyganowsky, Jan, vom 11.11.2005, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling

genden Inhaltsstoffen ausgesetzt sind, wurde weiterführend der **Säurewiderstand** geprüft. Untersucht wurde, welchen Einfluss verschiedene säurehaltige Lösungen und das Brunnenwasser aus dem Feldversuch auf das Betongefüge ausüben. Die Ergebnisse sollen Aussagen zum praktischen Einsatz der Betonelemente in und von Wasser unterschiedlicher Aggressivität zulassen. Vergleichend wurden Probekörper im Trinkwasser eingelagert.

Der pH-Wert²⁶⁹ von Regenwasser liegt heute oftmals zwischen 4 und 5. Im Vergleich: der pH-Wert von Trinkwasser sollte zwischen 6,5 und 7,5 liegen.²⁷⁰

In Abstimmung mit der FG Baustoffe, chemisch-physikalische Analytik der Forschungs- und Materialprüfanstalt an der BTU Cottbus, wurde saures Wasser mit pH-Werten zwischen 4 bis 6 hergestellt.

Für das Untersuchungsprogramm wurden Bohrkern mit einem Durchmesser von 100 mm an ausgebauten Deckenplatten des P2-Typs gewonnen. Die Bohrkern wurden quer halbiert (geschnitten). 44 Probekörper wurden insgesamt hergestellt.

Als „Prüfflüssigkeiten“ wurden verwendet:

- Trinkwasser / Leitungswasser mit einem pH-Wert von 7,6 (Nullmessung; Referenzmessung)
- Brunnenwasser pH-Wert ca. 5,5 bis ca. 6,5 (eingeleitetes Wasser im Versuchsdeich)
- Schwefelsäurelösung (H_2SO_4) pH-Wert 6,0
- Schwefelsäurelösung (H_2SO_4) pH-Wert 5,0
- Schwefelsäurelösung (H_2SO_4) pH-Wert 4,0
- Salpetersäurelösung (HNO_3) pH-Wert 4,0

Die gewählten Einlagerungsbedingungen der Probekörper im Wasser bzw. in verdünnten Säuren decken die Bereiche für nicht betonaggressives Wasser, saures Wasser von schwach bis sehr stark angreifend und für das Brunnenwasser mit starkem Angriffsverhalten durch verschiedene Inhaltsstoffe im Sinne der DIN 4030-1²⁷¹ ab.

Die Probekörper wurden nach kurzfristiger (1 Monat) und langfristiger (1 Jahr) Beanspruchung jeweils an 3 Probekörpern hinsichtlich

- ihres Volumens,
- der Trockenmasse,
- der Oberflächenstruktur (visuell)

geprüft. Die Lagerung der Probekörper erfolgte überwiegend im Raum (Labor) aber auch im Freien.

Die Prüfergebnisse sind in nachstehender Abb. 7.4 für die Kurzzeitprüfungen und in Abb. 7.5 für die Langzeitprüfungen grafisch dargestellt.

²⁶⁹ Der pH-Wert gibt an, ob das Wasser sauer, neutral oder basisch ist.

²⁷⁰ www.wasserundmehr.de/pH-wert.htm; aufgerufen am 01.03.2009

²⁷¹ DIN 4030-1: 2008-06 Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase – Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte

• Kurzzeitprüfungsergebnis zur Trockenmasse

Während die im Brunnenwasser und Trinkwasser gelagerten Probekörper eine Massezunahme zeigen, weisen alle in Schwefelsäure- und Salpetersäurelösung gelagerten Prüfkörper in Abhängigkeit von der Einlagerungsdauer einen kontinuierlich steigenden Masseverlust auf.

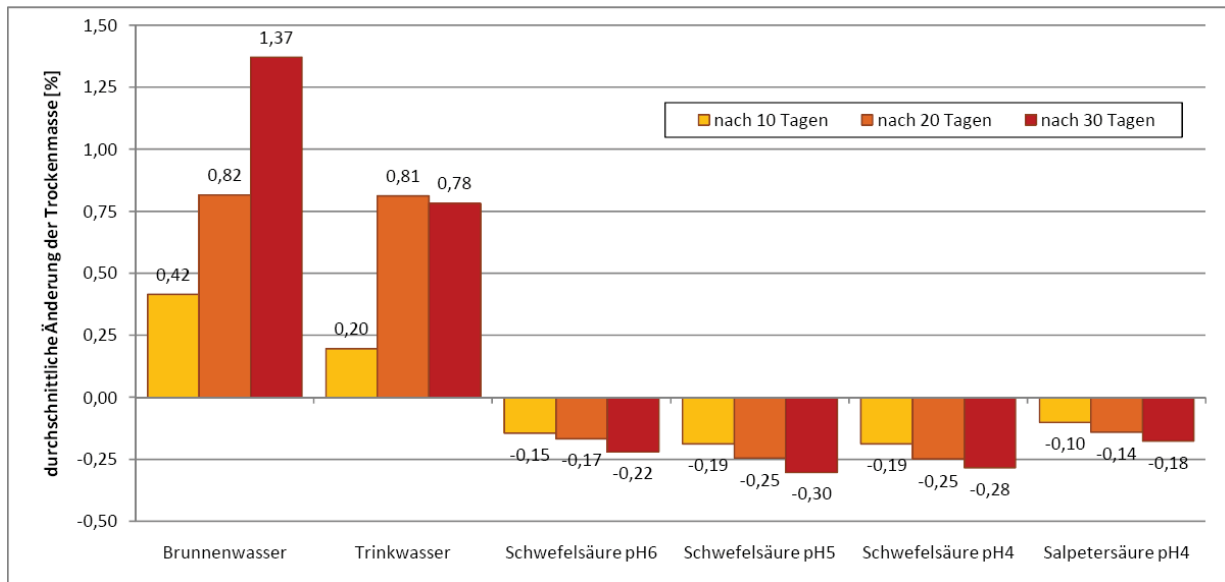


Abb. 7.4: Ermittelte durchschnittliche Trockenmasseänderung der Prüfkörper zum Säurewiderstand (Kurzzeitprüfung)²⁷²

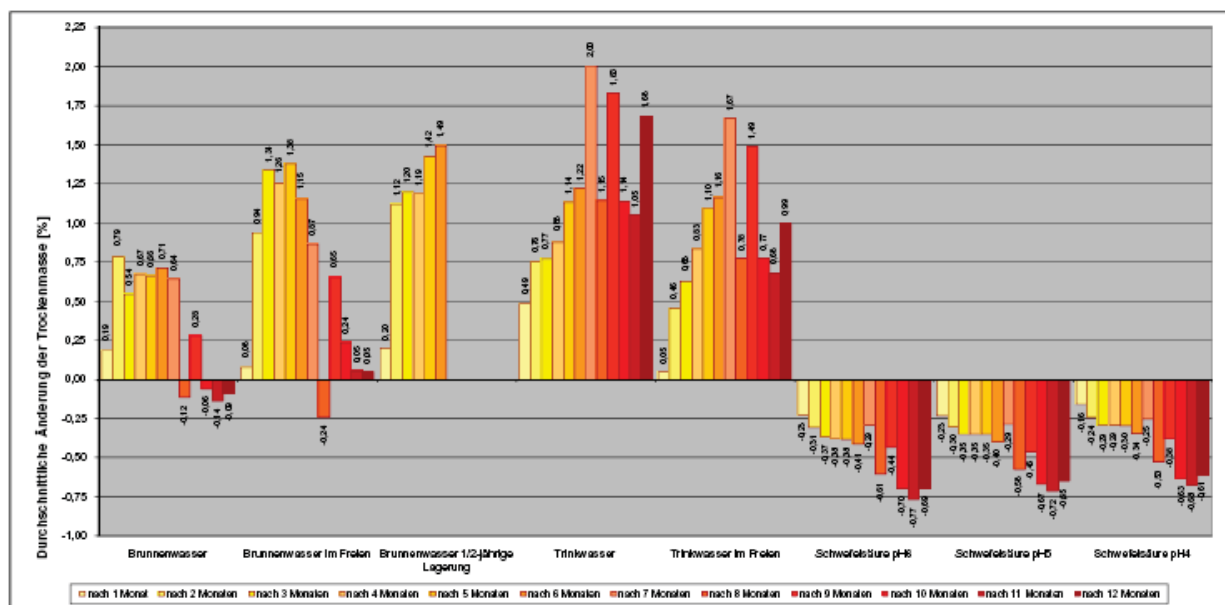


Abb. 7.5: Ermittelte durchschnittliche Trockenmasseänderung der Prüfkörper zum Säurewiderstand (Langzeitprüfung)²⁷³

²⁷² Mettke, Angelika; Heyn, Sören: Deichbau – Nutzung ausgebauter großformatiger Betonelemente aus dem Wohnungsbau für den Hochwasserschutz, Schlussbericht, z. Zt. in Bearbeitung, Fertigstellung April 2009

²⁷³ ebenda

- **Langzeitprüfungsergebnis zur Trockenmasse**

Bei der Lagerung der Prüfkörper im Brunnenwasser ist bis zu 6 Monaten eine Zunahme der Trockenmasse festgestellt worden. Danach, die nächsten 6 Monate, kam es zu Masseverlusten. Die im Freien gelagerten Prüfkörper im Brunnenwasser weisen bis zum Zeitraum von 6 Monaten eine deutliche Zunahme der Trockenmasse auf. Danach ist ein Abfall zu erkennen.

Die Lagerung der Prüfkörper im Trinkwasser im Raum und im Freien ergibt eine Zunahme der Trockenmasse nach 12 Monaten, wenn auch nicht immer kontinuierlich.

Alle in Schwefelsäurelösung gelagerten Prüfkörper weisen vom ersten Monat an bis zu 1 Jahr einen nahezu kontinuierlichen Verlust an Trockenmasse auf.

- **Volumenänderungen**

Die im Brunnenwasser und im Trinkwasser gelagerten Probekörper zeigen geringe Volumenzunahmen:

- bei Einlagerung in Brunnenwasser im Freien / Winterhalbjahr i. M. 0,04 %,
- bei Einlagerung in Trinkwasser im Raum nach 12 Monaten i. M. 0,23 %,
- bei Einlagerung in Trinkwasser im Freien nach 12 Monaten i. M. 0,13 %

Die Volumenänderungen der in Säurelösungen gelagerten Probekörper zeigen eine relativ große Schwankungsbreite auf: von einer Volumenabnahme bis zu einer Volumenzunahme.

- **Visuelle Betrachtung der Oberflächenstruktur**

An keinem der im Trinkwasser und in den aggressiven Medien gelagerten Prüfkörper wurden Oberflächenveränderungen an der Zementsteinmatrix festgestellt. Selbst die Kontaktzonen zwischen Gesteinskörnung und Zementstein sind ungeschädigt. Weder Absandungen noch Gefügearlockerungen waren sichtbar.

Darüber hinaus wurde die Gesamtporosität des Betons mit 12,05 Vol.-% ermittelt.

Die chemische Analyse des Brunnenwassers zeigt ein Absinken der Aggressivität innerhalb eines Jahres. Von ehemals stark angreifend (1.080 mg/l SO_4) liegt die Aggressivität nur noch bei schwach angreifend (764 mg/l SO_4). Diese Sulfatgehalte sind dem ganz unteren Bereich des Angriffsgrades stark angreifend zuzuordnen.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass die Verluste an Trockenmasse des Betons bei 0,5 bis max. 0,9 %, überwiegend um 0,6 % keine Veränderung der Haftung zwischen der Gesteinskörnung und dem Zementstein auslöst.

Die Einwirkung von Sulfaten auf dem Beton wurde mit der Einlagerung der Prüfkörper im Brunnenwasser getestet. Daneben wies das Brunnenwasser noch kalklösende Kohlensäure mit niedrigem pH-Wert auf. Visuell wurden auch hier keine Schädigungen an den Betonoberflächen festgestellt (weder Risse noch Abplatzungen). Die gute Widerstandsfähigkeit des Betons gegen den Sulfatangriff ist auf die Festigkeit und Dichtigkeit des Betons zurückzuführen. Infolge der Änderungen von Trockenmasse

und Volumina wird nicht ausgeschlossen, dass es nach dem Ablauf der Korrosionsvorgänge zur Abnahme oder Anreicherung an der Betonsubstanz durch Ionenaustausch (z. B. durch Umsetzung schwerlöslicher Verbindungen in leichtlösliche) bzw. zur Verringerung der Substanz durch Auslaugprozesse kommen kann.²⁷⁴

Insgesamt wird festgestellt, dass anhand der Leitparameter Betondruckfestigkeit und Dichtigkeit der weitere bzw. sekundäre Einsatz der RC-Betonelemente im Deichbau ableitbar ist.

Die Untersuchungsergebnisse zum Frostwiderstand mit und ohne Einwirkung von Taumitteln (s. Kap. 6.2.1.2) lassen einen Einsatz der RC-Betonelemente an der Deichoberfläche (Überlauf-, strömstrecken) oder als Oberschicht im Wegebau nur im aufgearbeiteten Zustand zu. Empfohlen wird, die Oberfläche der RC-Betonelemente gemäß DAfStb-Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Ausgabe Oktober 2001 zu beschichten, um v. a. die Witterungsbeständigkeit und den Diffusionswiderstand gegen Kohlendioxid zu verbessern.

Der Einsatz unbehandelter RC-Betonelemente aus dem Wohnungsbau ist im Innern des Deiches aufgrund der hohen Gebrauchtauglichkeit uneingeschränkt möglich. Die ermittelte hohe Dichtigkeit der Betonelemente, vergleichbar mit der Dichtigkeit von Ton, führte zu der Erkenntnis, dass die Fugen zwischen den verbauten Betonelementen im Deichbau den Schwachpunkt der Dichtung darstellen werden. Auf die konstruktive Ausbildung der Deichvarianten wird nachfolgend eingegangen.

7.6.3 Innovationsprojekt Versuchsdeich

- Allgemeine Beschreibung

Der Versuchsdeich, ein von vier Seiten eingedeichter Bereich, ist auf undurchlässigem Untergrund in den Abmaßen 39 m × 39 m errichtet worden (s. Abb. 7.6). Durch die Abdichtung des Untergrundes wird die Unterströmung des Deichkörpers verhindert. Dafür ist eine Tonschicht in einer Stärke von 50 cm auf einer Fläche 40 m × 40 m eingebaut worden.

Der Versuchsdeichkörper wird durch einen umlaufenden homogenen Erdkörper gefasst, an dessen innenliegenden Böschungen die Wasserseite des Deiches nachgestellt wird. Der Deichkörper wurde land- und wasserseitig mit Böschungsneigungen von 1 : 2 hergestellt und ist somit steiler als in der DIN 19712: 1997-11 Flussdeiche, 7.2.2 Deichböschungen, empfohlen. Die steilere Böschung wurde gewählt, da unter praktischen Bedingungen oft beengte Platzverhältnisse anzutreffen sind und zudem weniger Erdmassen bewegt werden müssen. Im Versuchsdeich wurden dadurch 3.060 m³ Erdmassenbewegungen eingespart bzw. ~ 250 LKW-Fahrten. Zum anderen soll der Extremfall (hohes Schadenspotenzial) simuliert werden.

Die Deichhöhe beträgt 3 m von OK Sohle, die Deichkrone ist 3 m breit. Bei der gewählten Böschungsneigung von 1 : 2 ergibt sich damit eine Gesamtbreite des Deichquerschnitts von 15 m (anstelle 21 m bei 1 : 3). Der Bemessungshochwasserstand wurde mit 2,30 m festgelegt. Damit wird dem empfohlenen Mindestfreibord von 0,5 m Rechnung getragen (vgl. Abb. 7.10).

²⁷⁴ Panzer, Julianna; Wollgam, Helrun: Untersuchungsbericht zum Säurewiderstand der eingesetzten Bauteile im Deichbau, FMFA BTU Cottbus, im Auftrag der FG Bauliches Recycling, April 2008

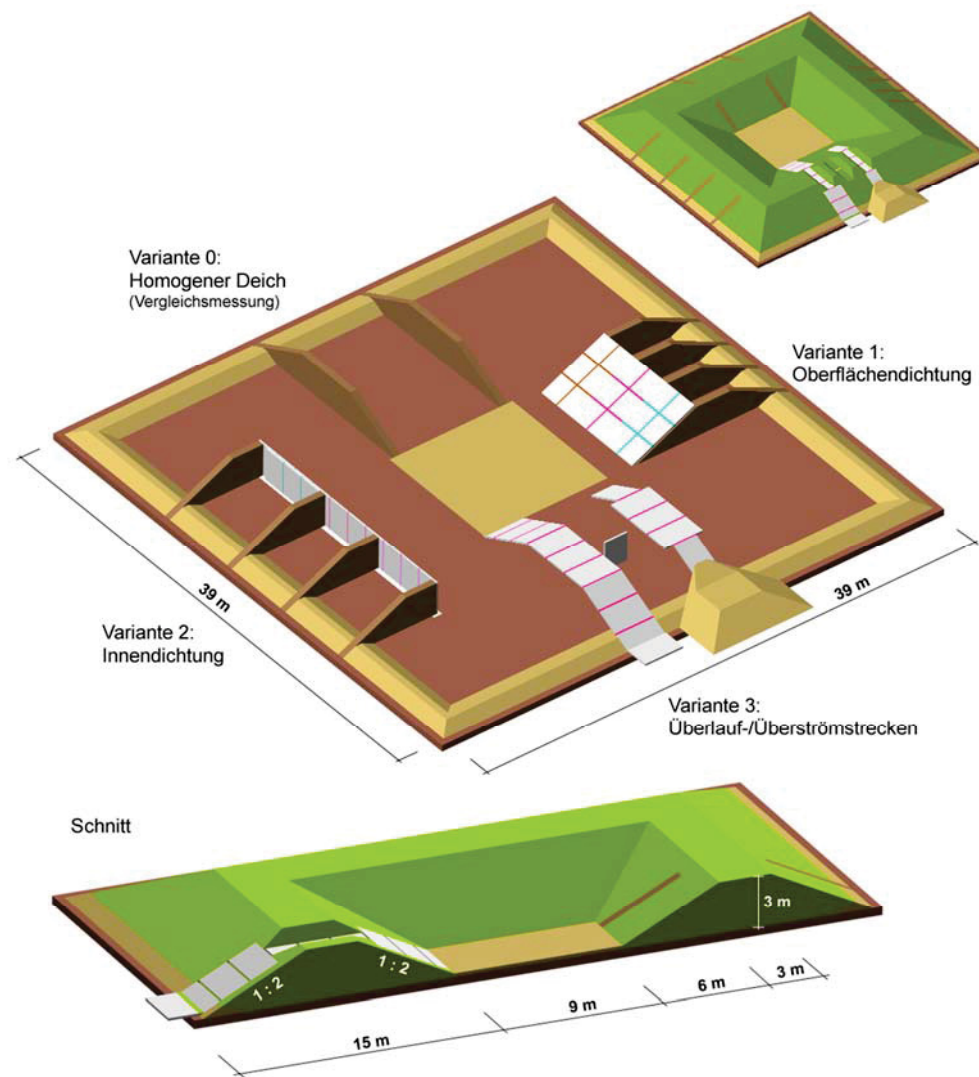


Abb. 7.6: Versuchsaufbau Modell: Eingedeichter Bereich für Wasserhaltung

Die überströmbaren Bereiche wurden in einer Deichhöhe von 2,30 m mit einer Kronenbreite von 5,80 m mit einer Böschungsneigung von 1 : 2 ausgebildet. Der eine Bereich wird als Kombination von Oberflächendichtung und Überlaufstrecke erstellt. Im zweiten Bereich soll die Innendichtung auf ihr Verhalten bei Überströmung untersucht werden. Der Deichkörper ist aus homogenem Bodenmaterial hergestellt. Ca. 2.600 m³ Boden (schluffiger Sand $k_{f, \text{ist}} = 7,7 \cdot 10^{-8}$ m/s) sind verbaut worden, welcher vor Ort gewonnen wurde.

Der Durchlässigkeitsbeiwert der Betonfertigteile $k_f \sim 10^{-10}$ m/s ist damit, wie gefordert²⁷⁵, mindestens zwei Zehnerpotenzen kleiner als der des Stützkörpers. Geplant war allerdings, gemischtkörniges Bodenmaterial der Gruppe enggestufte Sande oder Sand-Schluff mit einem Schluffanteil von max. 10 %, $k_f \sim 10^{-6}$ bis 10^{-5} m/s zu verwenden. Dieses Bodenmaterial war jedoch nicht mehr vor Ort verfügbar.

²⁷⁵ Heyer, Dirk; Schmutterer, Christian: Einführung in das DWA-Thema „Dichtungssysteme in Deichen“, in: Tagungsband DWA-Seminar „Flussdeiche“, Fulda, Mai 2007, S. 3

Nach Analyse der Bodenprobe beträgt der Sulfatgehalt 1.862 mg/kg. Damit wird der Grenzwert 2.000 mg/kg unterschritten und der Boden wird im Sinne von DIN 4030-1, Tab. 5 als nicht angreifend eingestuft.²⁷⁶

Verbaut worden sind 20 Jahre alte Deckenplatten aus dem WBS 70-Typ. Das Spendergebäude befand sich in Dresden. Der Versuchsdeich ist im Tagebau Welzow Süd in Abstimmung mit Vattenfall Europe Mining & Generation gebaut und getestet worden.

Die angelieferten Deckenplatten in den Abmaßen 5,98 m × 1,785 m × 0,14 m wurden in ihrer Länge halbiert, um die Anzahl der Fugen bei der Variante Oberflächendichtung zu erhöhen und damit den Schwachpunkt, die Dichtigkeit der Fugen zu testen. Für den senkrechten Verbau der Platten war ohnehin die Halbierung der Platte aufgrund der Deichhöhe erforderlich.

Im Versuchsdeichkörper sind durch den Einbau von vertikalen Tonschichten verschiedene Untersuchungsbereiche eingeteilt worden. Sie grenzen die Bereiche der unterschiedlich eingesetzten Fugendichtmaterialien voneinander ab.

Am landseitigen Deichfuß ist ein umlaufendes Filterprisma mit Drainage eingebaut worden. Zur Ableitung des Dränwassers wurde am Deichfluss eine Rinne angelegt mit geringem Gefälle bis zum Sammler, um das austretende Sickerwasser aufzufangen. Die Rinne wurde vor Schutz gegen Regenwasser abgedeckt.

- Standsicherheitsnachweis

Mit einer von der DIN 19712 bewusst abweichenden Festlegung der Böschungsneigung von 1: 2 sind die Nachweise zur Standsicherheit geführt worden.

Nach DIN V 4084-100²⁷⁷ muss die Standsicherheit der Deiche für alle in Betracht kommende Belastungsfälle gewährleistet sein. Sie wird dadurch nachgewiesen, dass für jede mögliche Gleitfläche, durch den Deichkörper bzw. den Deichkörper und Untergrund, ein Bruch ausgeschlossen werden kann. Das bedeutet, dass sowohl die Beschaffenheit des Deichkörpers als auch die des Untergrundes für die Standsicherheit wesentlich sind.

Die Nachweise wurden für zwei Lastfälle (LF) im Vorfeld des Versuchsaufbaues geführt:²⁷⁸

- LF 2 mit den Lasten der Eigenlast, Verkehrslast auf der Krone und Berme und dem BHW²⁷⁹ - Wasserstand; erforderliche Sicherheit $\eta = 1,3$,
- LF 3 mit den Lasten der Eigenlast, Verkehrslast auf der Krone und Berme, den Wasserstand bis Deichkrone (Volleinstau) bzw. absinkendes Hochwasser BHW/3, Versagen der Dränung; erforderliche Sicherheit $\eta = 1,2$.

²⁷⁶ Panzer, Julianne; Wollgam, Helrun: Brunnenwasser- und Bodenuntersuchungen, in: Untersuchungsbericht zum Säurewiderstand der eingesetzten Bauteile im Deichbau, FMPA BTU Cottbus, im Auftrag der FG Bauliches Recycling, April 2008

²⁷⁷ DIN V 4084-100 Beiblatt 1: 1994-04 Baugrund-, Böschungs- und Gebäudebruchberechnungen – Teil 100 Berechnung nach dem Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten, Berechnungsbeispiele

²⁷⁸ Czyganowsky, Jan; Reinfeld, Corinna: Nachweisführung zur Standsicherheit unter Einsatz von gebrauchten Betonelementen, BTU Cottbus, FG Bauliches Recycling, 2006

²⁷⁹ Bemessungshochwasser

Für die Modellierung des Versuchsdeiches wurden Randbedingungen definiert. Eine Veränderung gegenüber dem Berechnungsansatz im Vergleich zum gebauten Versuchsdeich ergibt sich aus dem höheren Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f = 7,7 \cdot 10^{-8}$ m/s anstatt $k_f \approx 2,0 \cdot 10^{-6}$ m/s. Der angesetzte Durchlässigkeitsbeiwert basierte auf Analysen der Bodenproben eines anderen Versuchsstandortes, der wegen Überbaggerung nicht mehr für den Bau des Versuchsdeiches zur Verfügung stand.

Unter Verwendung zweier Wasserbauprogramme GGh-SS Flow und GW stability wurden die Nachweise nach DIN V 4084-100 geführt mit dem Ergebnis, dass die Standsicherheit in allen Variantenausführungen des Versuchsdeichs erfüllt werden (vgl. Abb. 7.7 Sickerlinienverlauf).

Die ermittelten Berechnungsergebnisse wurden zusätzlich von einem ortsansässigen Ingenieurbüro aus wasserbaufachlicher Sicht bewertet und auf ihre Plausibilität überprüft. Die Überprüfung ergab, dass der im Deichkörper berechnete Sickerlinienverlauf mit und ohne Dichtungselemente plausibel und nachvollziehbar ist. Mit der Anordnung eines Filterprismas am luftseitigen Böschungsfuß wird der Austritt der Sickerlinie oberhalb des Deichfußes und damit eine Verringerung der Standsicherheit vermieden.

Die Anordnung einer Berme wirkt sich günstig auf die Standsicherheit des Deiches aus.

Hingewiesen wurde darauf, dass aus Deichplanungen an vorhandenen Anlagen ab einer Böschungsnegung von 1: 2,5, wasserseitig im unteren Böschungsdrittel, lokale Probleme auftreten können. Diesem kann durch den Einsatz eines geeigneten Geogitters mit stabilisierender Wirkung entgegengewirkt werden. Realisiert wurde der Versuchsdeich – aus Kostengründen – ohne Geogitter.

Mit der Überprüfung der Berechnungsergebnisse wurde aus standsicherheitstechnischer Relevanz der Versuchsaufbau von der Autorin (Projektleiterin) freigegeben. Die Ergebnisse der Standsicherheitsuntersuchungen sind detailliert im Forschungsbericht „Pro Altbeton im HWS“²⁸⁰ dokumentiert.

²⁸⁰ Mettke, Angelika; Heyn, Sören: Deichbau – Nutzung ausgebauter großformatiger Betonelemente aus dem Wohnungsbau für den Hochwasserschutz, Schlussbericht, z. Zt. in Bearbeitung, Fertigstellung April 2009

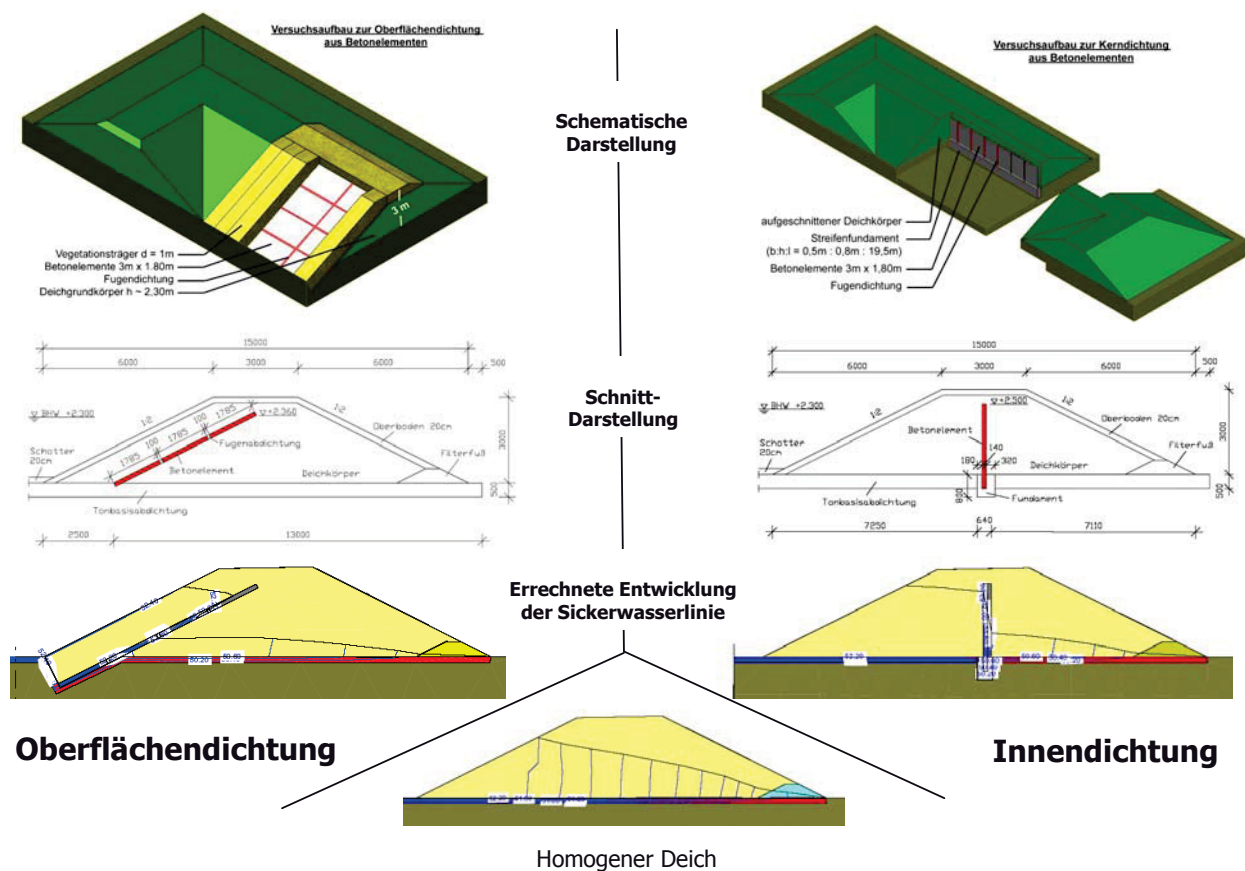


Abb. 7.7: Übersicht zu den entwickelten Haupteinsatzvarianten

- Wasserhaltung im Versuchsaufbau

Durch die Stauhaltung des Wassers (Brunnenwassers) im eingedeichten Bereich können die wirklichen Belastungen bei Hochwasser simuliert werden. Für einen Einstau wurden ca. 550 m^3 Wasser benötigt.

Der Versuchsdeich ist fünfmal befüllt worden. Die Überströmversuche wurden zuletzt durchgeführt. Das Aufstauen des Wassers bis zur Höhe von $2,50\text{ m}$ (1. Versuch) und $2,70\text{ m}$ (2. Versuch) erfolgte im Bereich der Überströmstrecken mit Sandsäcken.

- Bautechnische Kennwerte

Aus den 29 angelieferten Deckenplatten wurde an 3 Elementen die Druckfestigkeitsklasse mittels Rückprallhammer ermittelt. Die Messungen ergaben für 2 DP die Festigkeitsklasse C 20/25 (B 25) und für die Dritte C 40/50 (B 45). An den gezogenen Bohrkernen, die für die Umweltverträglichkeitsprüfung entnommen wurden, konnte keine Karbonatisierung festgestellt werden. Die anderen Kennwerte sind bereits zuvor dokumentiert. Die Umweltverträglichkeitsprüfung führte zur Einordnung in die Einbauklasse Z0 nach LAGA (vgl. Kap. 9, Abb. 9.12).

7.6.3.1 Variante 1 - Oberflächendichtung

Die Betonelemente sind als Flächendichtung auf der wasserseitigen Deichböschung verbaut, in die Tonbasisabdichtung eingebunden und mit 1 m Bodenmaterial (schluffiger Sand) überdeckt worden (s. Abb. 7.7, 7.8). Die Fugen zwischen den Platten betragen 10 cm. Als Fugendichtstoffe kamen XYPEX-Beton, gestampfter Ton und Brunnenschaum zum Einsatz.

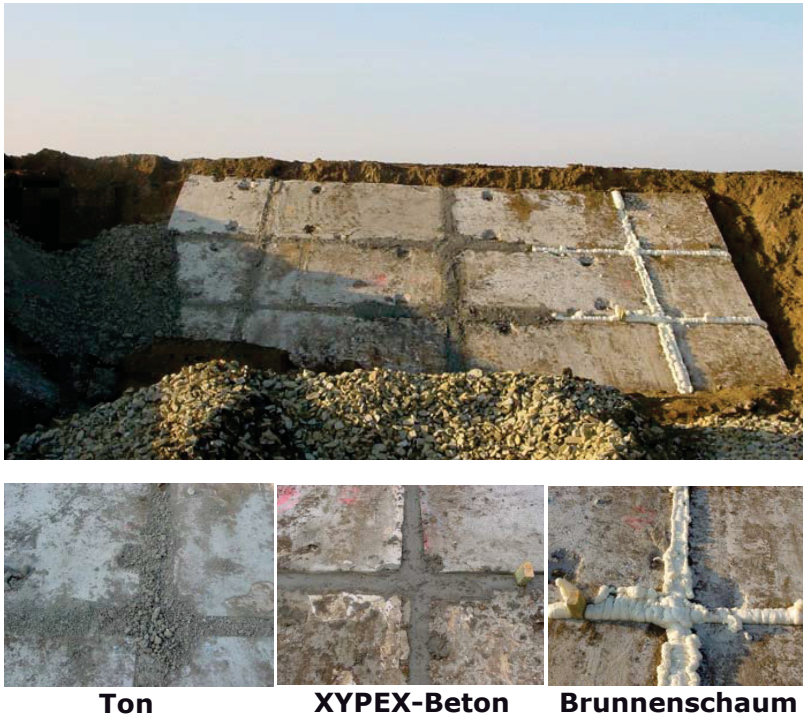


Abb. 7.8: Oberflächendichtung in der Bauphase

7.6.3.2 Variante 2 - Innendichtung

Die Innendichtung besteht aus aneinandergereiht senkrecht gestellten Betonplatten entlang der Deichachse. Die 3 m hohen Betonplatten sind 50 cm tief in ein Streifenfundament eingespannt worden²⁸¹ und endeten 50 cm unter OK Deichkrone (s. Abb. 7.10). Die Deckenplatten für die Dichtungswand sind aus statischem Gesichtspunkt mit der ehemaligen Deckenunterseite zur Wasserseite hin eingebaut worden.

Zusätzlich wurden drei Betonplatten versetzt hinter drei der vertikalen Fugen angeordnet. Als Fugendichtstoffe kamen Dichtungsprofile Orbit-Flex.B, XYPEX-Beton und Brunnenschaum zum Einsatz (s. Abb. 7.9).

²⁸¹ Schmiedehausen, Rudolf: Statische Berechnung Streifenfundament für Innendichtung, im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, im Rahmen des Forschungsvorhabens „Pro Altbeton im Hochwasserschutz“, vom 05.09.2006

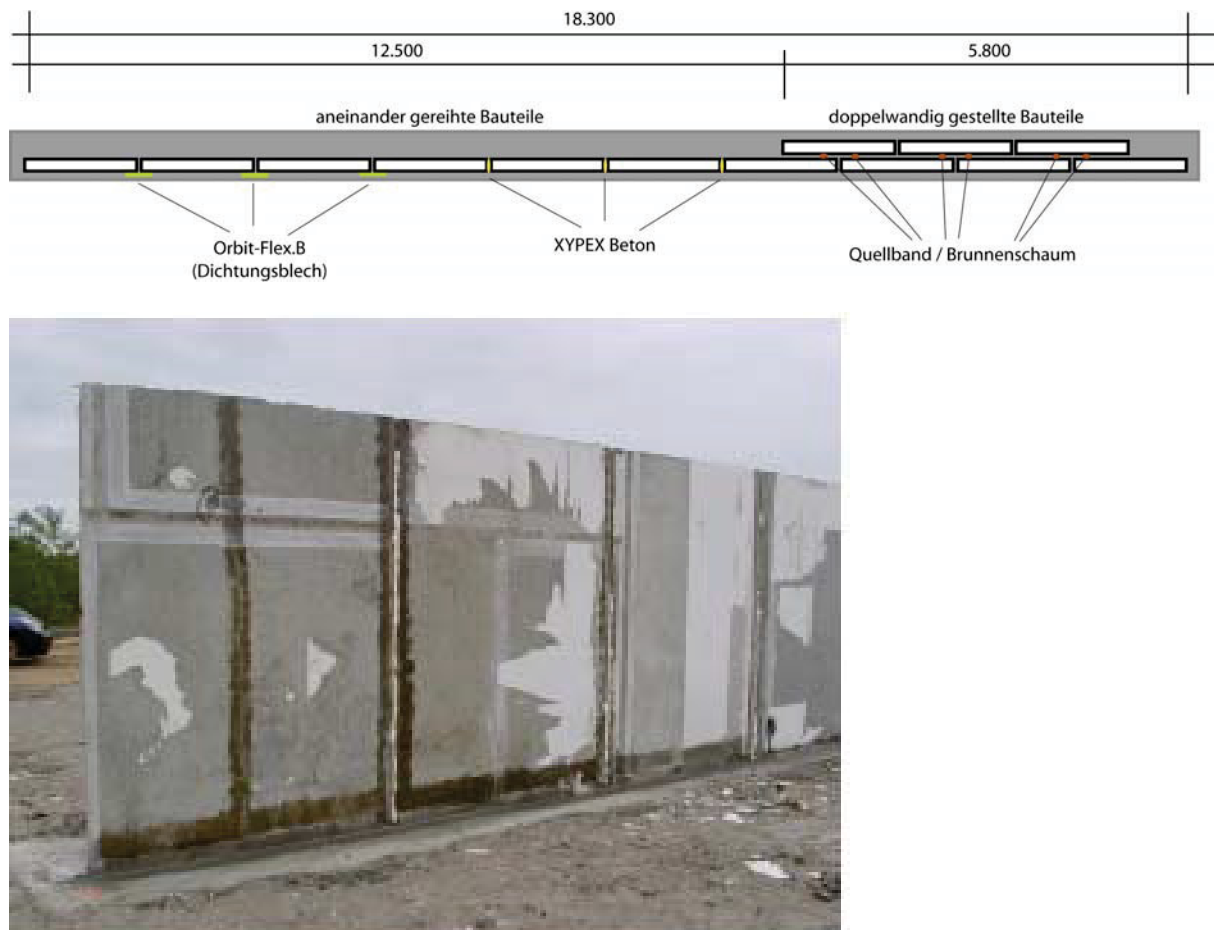


Abb. 7.9: Innendichtung; Draufsicht und in der Bauphase

7.6.3.3 Variante 3 – Überlauf- / Überströmstrecken

Durch den Einsatz der Betonplatten auf der Deichoberfläche soll der Deich im Falle einer Überströmung vor Erosion geschützt werden. Die Auflage der Platten auf der Deichkrone und landseitig, der Böschungsneigung entsprechend, erzeugen eine Auflast, die zur Erhöhung der Standfestigkeit des Deichkörpers dient. Eine weitere zusätzliche Auflast wurde durch die landseitig hergestellte Berme aus Recyclingschotter geschaffen (s. Abb. 7.10). Bei der Variante 3.1 sind die Platten sowohl wasserseitig als auch landseitig in die Tonschicht eingebunden worden. Bei der Variante 3.2 erfolgte die Anordnung der Platten nur im Kronenbereich. Die Fugen zwischen den Betonplatten wurden mit XYPEX-Beton geschlossen. Variante 3.3 verkörpert die Innendichtung durch den Einbau einer Platte, versetzt im Fundament.

7.6.3.4 Versuchsdurchführung, -ergebnisse

Die Versuche mit insgesamt 7 Messkampagnen dauerten etwa 1,5 Jahre an, um die Einflüsse von Hochwasserereignissen zu verschiedenen Jahreszeiten und Witterungseinflüssen nachzustellen. Das Becken wurde mit Brunnenwasser bis zu einem Höchststand von 2,30 m fünfmal befüllt und wieder entleert. Nach einer Verweilzeit der Befüllung bis zur Einstellung der Sickerwasserlinie ist das Wasser abgelassen worden, um die Situation eines zurückgehenden Hochwassers zu simulieren.

Durch das mehrmalige Befüllen sind – unter dem Einfluss der verschiedenen Einstaudauern – die Funktion und die Dauerhaftigkeit der eingebauten Dichtungsschichten aus RC-Betonelementen analysierbar.

Nach Abschluss dieser Versuchsreihen sind Untersuchungen an den Überlauf – resp. Überströmstrecke vorgenommen worden. Dazu wurde der Wasserstand im Speicherbecken im 1. Versuch auf 2,50 m und im 2. Versuch auf 2,70 m angehoben. Die dafür vorgesehenen Bereiche sind durch das Entfernen der eingebauten Sandsäcke einzeln überströmt worden.

- Messtechnik

Um gesichert Daten zum Verhalten der jeweiligen entwickelten Variante zu erhalten, ist im Deichkörper eine umfangreiche Messtechnik installiert, u. a.:

- Faseroptische Temperaturmesstechnik:
 - zur Lokalisierung der Sickerwasserpfade (Leckageüberwachung der Fugen) über Temperaturmessung im Bereich der Fugen der Innen- und Oberflächendichtung (s. Abb. 7.11)
 - zur Untersuchung der Einstellung der Sickerlinie im homogenen Deich als Vergleichsmessung (dazu parallel Messung über 5 Pegel, s. Abb. 7.12)
- Pegelrohre mit kontinuierlicher Messdatenerfassung (Druckmessdose) und Datenlogger:
 - zur Ermittlung der Wasserstände des Sickerwassers im Deichkörper sowie des Wasserstandes im Becken (punktuell)
- Stangenextensometer:
 - zur Ermittlung des Setzungsverhaltens des Deichkörpers
- Befestigte Rinne mit Messsammler:
 - zur Ermittlung der durchströmenden Sickerwassermengen
- Geodätisches Messgerät plus Zubehör:
 - zur Ermittlung der Deichverformung mittels Fixpunkten auf dem Deichkörper (luft- und wasserseitig und einem Festpunkt im freien Gelände)



Abb. 7.11: Verlegen des Temperaturkabels



Abb. 7.12: Installation Pegel

- Versuchsergebnisse

Die Auswertung der Messdaten sowie der Dokumentation der visuellen Beobachtungen dauern derzeit noch an. Die bisherig gewonnenen Erkenntnisse zeigen jedoch, dass weder ein Versagen noch Instabilitäten während der Versuchskampagnen noch danach zu verzeichnen sind. Die gebrauchten Betonteile aus dem Hochbau können unaufgearbeitet im Erdbau eingesetzt werden.

Eine Grasnarbe hatte sich aufgrund des eingebauten Bodenmaterials im Deichkörper und der im Tagebau extremen Witterungsverhältnisse nicht entwickeln können, trotz der Bewässerung in der trockenen Sommerzeit. Da bei den Standsicherheitsberechnungen eine Grasnarbe keine Berücksichtigung findet, wurde der Versuch ohne bzw. nur mit spärlicher Begrünung durchgeführt. Damit sind die Tests an ungünstigeren Randbedingungen als unter Praxisbedingungen absolviert worden.

Wenn gleich die Untersuchungen der Versuchskampagnen noch nicht abgeschlossen sind, ist ableitbar, dass RC-Betonelemente zur Stabilisierung von Deichen einsetzbar sind. Nennenswert sind die festgestellten verminderten Durchsickerungen und die geringe Verformung der Deichabschnitte mit Dichtungen (Betonelementen) im Vergleich zum homogenen Deichabschnitt.

Zur Dichtigkeit der Fugenausbildung kann gegenwärtig noch keine abschließende Aussage getroffen werden. Tendenziell zeichnet es sich ab, Bentonitpackungen vorzusehen.

7.6.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im Rahmen der Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit²⁸² der entwickelten Deichbauvarianten sind die Baukosten nach sirAdos²⁸³ kalkuliert und mit zwei verschiedenen wasserwirtschaftlichen Ingenieurbüros abgeglichen worden.

Das Ziel der Untersuchung besteht darin, die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der entwickelten Deichbauvarianten gegenüber herkömmlichen Ausführungen zu ermitteln.

Der Kalkulation zugrunde gelegt wurde ein Deich von 100 m Länge mit 3 m breiter Krone, einer Höhe der Deichkrone von 3 m (der Deichquerschnitt entspricht dem Versuchsdeich). Die Böschungsneigung 1 : 2 gilt für die Varianten:

- Deich mit Oberflächendichtung aus RC-Betonelementen (RC-BE),
- Deich mit Innendichtung aus RC-Betonelementen (RC-BE).

Die Überlaufstrecke mit RC-Betonelementen ist in 2,30 m Höhe angeordnet. Die Kronenbreite beträgt an dieser Stelle 5,80 m.

Gegenübergestellt werden diese Varianten folgenden Deichausführungen:

- homogener Deich mit einer Böschungsneigung 1 : 3
- Überlaufstrecken 1. mit einer land- und wasserseitigen Böschungsneigung von 1 : 10 und
2. mit einer wasserseitigen Böschungsneigung von 1 : 3 und einer landseitigen Böschungsneigung von 1 : 10.

²⁸² Kania, Gregor: Weiterverwendung gebrauchter großformatiger Betonfertigteile im Deichbau und bei der Deichsanierung, Diplomarbeit, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Juli 2008, S. 65 ff.

²⁸³ sirAdos – Baudaten für Kostenplanung und Ausschreibung

In die Berechnung sind die im Versuchsdeich unterschiedlich eingesetzten Fugendichtstoffe sowie unterschiedliche Transportentfernungen eingeflossen.

Das Ergebnis stellt sich zusammenfassend wie folgt dar:²⁸⁴

Tab. 7.5: Gegenüberstellung der Baukosten verschiedener Deichbauausführungsvarianten

Ausführungsvariante	Preis €/lfd. Meter (Werte gerundet)			Prozentualer Vergleich [%] (mittel)
	von	mittel	bis	
Homogener Deich 1 : 3	930	1.173	1.497	100
Deich mit Oberflächendichtung RC-BE (Ton) ¹ , 1 : 2				
Trapo RC-BE 25 km	753	940	1.190	80,1
Trapo RC-BE 100 km	757	950	1.205	81,0
Trapo RC-BE 250 km	772	976	1.242	83,2
Deich mit Oberflächendichtung RC-BE (XYPEX-Beton) ¹ , 1 : 2				
Trapo RC-BE 25 km	754	942	1.191	80,3
Trapo RC-BE 100 km	759	952	1.207	81,2
Trapo RC-BE 250 km	771	975	1.242	83,1
Deich mit Innendichtung RC-BE (Orbit-Flex.B) ¹ , 1 : 2				
Trapo RC-BE 25 km	858	1.057	1.318	90,1
Trapo RC-BE 100 km	863	1.065	1.330	90,8
Trapo RC-BE 250 km	871	1.078	1.349	91,9
Deich mit Innendichtung RC-BE(XYPEX-Beton) ¹ , 1 : 2				
Trapo RC-BE 25 km	853	1.052	1.313	90,0
Trapo RC-BE 100 km	858	1.061	1.326	90,5
Trapo RC-BE 250 km	866	1.075	1.346	91,6

¹ () Fugendichtstoff

²⁸⁴ zusammengestellt aus dem Anlagenteil der Diplomarbeit von Kania, Gregor: Weiterverwendung gebrauchter großformatiger Betonfertigteile im Deichbau und bei der Deichsanierung, Diplomarbeit, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Juli 2008, S. 65 ff.

Die Ergebnisse der Kostenkalkulation zeigen deutlich, dass die entwickelten Deichbauvarianten unter Verwendung von gebrauchten Betonelementen konkurrenzfähig gegenüber herkömmlichen Ausführungsvarianten sind.

Ausgehend vom mittleren Preisniveau werden bei den Ausführungsvarianten mit Oberflächendichtung rund 20 % und mit Innendichtung (Neubau) rund 10 % an Kosten eingespart gegenüber der Herstellung eines homogenen Deiches (vgl. Abb. 7.13) selbst dann, wenn die Betonelemente 250 km zu transportieren sind. Nicht nennenswert ins Gewicht fällt das unterschiedlich verwendete Fugenmaterial (In die Berechnung eingeflossen sind die Fugendichtstoffe, die im Versuchsdeich eingesetzt wurden.).

Die errechneten Kosten korrelieren mit den Angaben aus umgesetzten Vorhaben wie bspw. der Bau des 2,3 km langen ertüchtigten Deichs in Lunow-Stolpe-Polder. Rund 2,3 Mio. Euro wurden im Auftrag des Landesumweltamtes verbaut, um die Höhe des bestehenden Deiches zu erhöhen. Die Maßnahmen umfassten den Einbau eines Filterprismas, eine Abflachung der Deichböschung sowie das Anlegen eines neuen Deichverteidigungsweges auf der Deichkrone.²⁸⁵

Tab. 7.6: Gegenüberstellung der Baukosten zur Herstellung von Überlaufstrecken verschiedener Ausführungsvarianten

Ausführungsvariante	Preis €/lfd. Meter (Werte gerundet)			Prozentualer Vergleich [%] (mittel)
	von	mittel	bis	
Homogener Deich Überlaufstrecke 1 : 10	2.159	2.727	3.486	100
Überlaufstrecke RC-BE, 1 : 2				
Trapo RC-BE 25 km	1.009	1.257	1.618	46,1
Trapo RC-BE 100 km	1.035	1.302	1.681	47,8
Trapo RC-BE 250 km	1.075	1.371	1.783	50,3
Homogener Deich Überlaufstrecke 1 : 10 landseitig, 1 : 3 wasserseitig	1.539	1.943	2.483	71,3

Noch deutlichere Kosteneinsparungen zeigen sich bei den Überlaufstrecken. Gegenüber der traditionellen Bauweise mit Böschungsneigungen 1 : 10 betragen die Kosten selbst bei einer Transportentfernung von 250 km für die Anlieferung der gebrauchten Betonelemente nur die Hälfte. Im Vergleich zur Überlaufstrecke mit unterschiedlichen Böschungsneigungen (wasserseitig 1 : 3, landseitig 1 : 10) belaufen sich die Kosteneinsparungen immer noch auf beinahe 30 %. Anzumerken ist, dass davon ausgegangen wurde, dass die Betonelemente kostenfrei abgegeben werden.

²⁸⁵ Pressemeldung des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz vom 25.03.2008

Ausführungsvariante	Preis € / lfd. Meter
Homogener Deich 1 : 3	1.173
Deich mit Oberflächendichtung RC-BE 1 : 2 Transport RC-BE 100 km	950 – 952 223 – 221
Deich mit Innendichtung RC-BE 1 : 2 Transport RC-BE 100 km	1.061 – 1.065 108 – 112

Abb. 7.13: Gegenüberstellung der Baukosten verschiedener Deichbauvarianten mit Angabe des Einsparpotenzials

Ausführungsvariante	Preis € / lfd. Meter
Überlaufstrecke 1 : 10	2.727
Überlaufstrecke RC-BE 1 : 2 Transport RC-BE 100 km	1.302 1.425
Überlaufstrecke 1 : 3 wasserseitig 1 : 10 landseitig	1.943 784

Abb. 7.14: Gegenüberstellung der Baukosten von Überlaufstrecken in verschiedenen Ausführungsvarianten mit Angabe des Einsparpotenzials

7.6.5 Ökologische Relevanz des Einsatzes von gebrauchten Betonbauteilen im Deichbau

Unter Zugrundelegung der konstruktiven Ausbildung des Versuchdeiches wird nachfolgend aus ökologischer Sicht eine Bewertung der entwickelten Varianten gegenüber eines in traditioneller Bauweise errichteten Deiches nach DIN 19712 vorgenommen. Ziel ist es, Umweltentlastungs- oder Umweltbelastungspotenziale zu identifizieren, die sich durch die Neuentwicklungen ergeben.

- Flächen- und Bodenverbrauch

Aufgrund des kleineren Erdkörpers der entwickelten Deichbauausführung wird weniger Platz und weniger Bodenmaterial benötigt. Damit verringert sich die Flächeninanspruchnahme und die Abbaumen- gen von natürlichen Ressourcen (s. Abb. 7.15, Tab. 7.7).

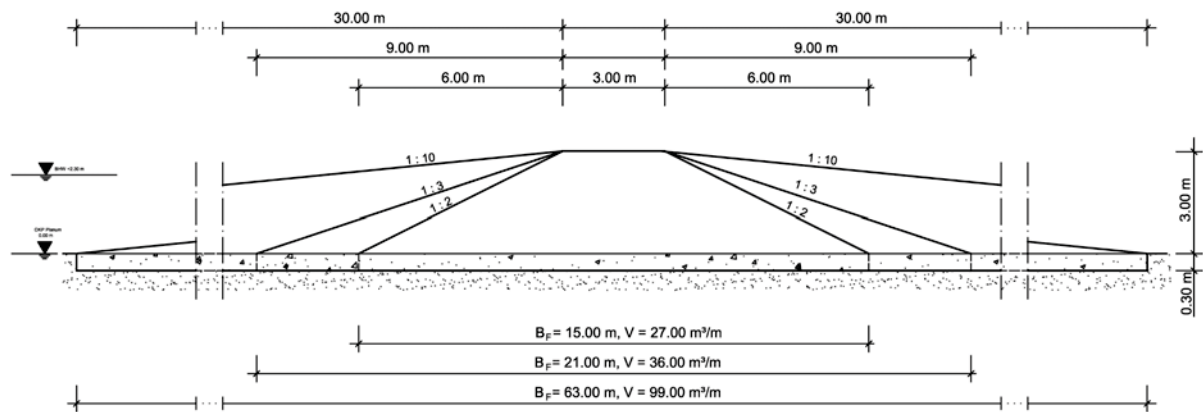


Abb. 7.15: Geometrien Deichbauvarianten

Tab. 7.7: Flächen- und Bodenverbrauch verschiedener Deichbauvarianten

Parameter	Deichausbildung			Überlaufstrecke		
	homogen 1 : 3	mit Oberflächendichtung 1 : 2	mit Innendichtung 1 : 2	1 : 10	1 : 2	1 : 10 + 1 : 3
	Höhe Deichkrone 3,00 m			Höhe Deichkrone 2,30 m		
	Var. 0	Var. 1	Var. 2	Var. 3.0	Var. 3.1	Var. 3.4
Flächenverbrauch [m²/m]	21	15		63	15	42
Differenz Var. 0 : Var. n bzw. Var. 3.0 : Var. 3.n [m²/m]		-6			-48	-21
[%]	100	71,4		100	23,8	66,7
	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Boden-verbrauch Volumen [m³/m]	36	26	26,5	85	22	58
Differenz V1 : Vn bzw. V4 : Vn [m³/m]		-10	-9,5		-63	-27
[%]	100	72,2	73,6	100	25,9	68,2

Erkennbar ist, dass im Vergleich zur traditionellen Deichbauausführung die Flächeninanspruchnahme um fast 30 % reduzierbar ist. Die Einsparung an Böden bezogen auf das Volumen beläuft sich auf ~ 26 – 28 %. Bei den entwickelten Überlaufstrecken ergeben sich noch größere Einsparungen aufgrund der steileren Böschungsneigung. Der Flächenverbrauch kann um mehr als $\frac{3}{4}$ eingespart werden bei der Betrachtung der Böschungsneigung 1 : 2 gegenüber 1 : 10. Die Bodenmaterialmengen verringern sich um knapp 75 %.

Angesichts der in der Praxis noch anstehenden Deichneubau- sowie -ertüchtigungsmaßnahmen und der politischen Zielsetzung der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, die Flächeninanspruchnahme von derzeit ~ 118 ha/d bis zum Jahr 2020 auf 30 ha/d²⁸⁶ zu reduzieren, implizieren die entwickelten alternativen Varianten einen interessanten Ansatz.

- Energetische Betrachtung

Für die energetische Betrachtung wird ein vereinfachter Ansatz für die Herstellung von 100 m zugrunde gelegt.

- Erforderliche Anzahl der RC-BE für die betrachteten Ausführungsvarianten

Annahme verwendetes Sortiment:

Deckenplatte 1,785 m × 5,98 m × 0,14 m ; ~ 3,5 t

- Variante 1: Oberflächendichtung (s. Abb. 7.7; 7.8): 48 DP
- Variante 2: Innendichtung (s. Abb. 7.7; 7.9): 26 DP
- Variante 3.1: Überlaufstrecke (s. Abb. 7.10): 147 DP

- Transport

Die Anzahl der Fahrten hängt vom Ladegewicht des LKW ab. Unter dem Ansatz eines Sattelzuges mit 25 Tonnen Ladegewicht können pro Fahrt 7 DP transportiert werden. Daraus folgt für

- Variante 1: 7 Fahrten
- Variante 2: 4 Fahrten
- Variante 3.1: 21 Fahrten

Für den Transport der Deckenplatten von Anfallort (Demontagebaustelle) oder ggf. von einem Zwischenlager zum Einbauort sind verschiedene Wegstrecken 25 km, 100 km und 250 km berücksichtigt worden. Der Primärenergieaufwand beträgt nach PROBAS 1,36 MJ/t·km.²⁸⁷

Für den Erdmassentransport zur Herstellung des Deichkörpers wird angenommen, dass ein Solo-LKW zum Einsatz kommt. Der Primärenergieaufwand beläuft sich hier auf 1,97 MJ/t·km. Für den Transport des Bodenmaterials werden 30 km Wegstrecke angesetzt.

²⁸⁶ vgl. UBA (Hrsg.): Nachhaltiges Bauen und Wohnen, November 2008, S. 23
²⁸⁷ unter LKW-DE-2000-Zug-30t, in: www.probas.umweltbundesamt.de/php

Daraus ergibt sich folgender Energieaufwand:

Tab. 7.8: Energieaufwand für den Transport bezogen auf die Herstellung von 100 m Deich

Transportleistung	Energiebedarf [MJ/t·km]	Masse [t]	Energiebedarf [MJ]			
			25 km	100 km	250 km	30 km
RC-BE-Transport	1,36					
Var. 1 Oberflächendichtung 1 : 2		168	5.712	22.848	57.120	
Var. 2 Innendichtung 1 : 2		91	3.094	12.376	30.940	
Var. 3.1 Überlaufstr. 1 : 2		515	17.510	70.040	175.100	
Bodenmaterial*	1,97					
Var. 0 Homog. Deich 1 : 3		7.020				414.882
Var. 1 Oberflächendichtung 1 : 2		5.070				299.637
Var. 2 Innendichtung 1 : 2		5.168				305.429
Var. 3.0 Überlaufstrecke 1 : 10		16.575				979.583
Var. 3.1 Überlaufstrecke 1 : 2		4.290				253.539
Var. 3.4 Überlaufstrecke 1 : 10 + 1 : 3		11.310				668.421

* Dichte ρ ermittelt 1,889 g/cm³ bis 2,163 g/cm³²⁸⁸; gerechnet mit 1,95 g/cm³

▪ Kraneinsatz

Für den Einbau der Betonelemente wird ein Fahrzeugkran erforderlich. Ausgehend von der Bauausführung für den Versuchsdeich werden für die Herstellung der Oberflächendichtung ~ 10 min./BE und für die Innendichtung ~ 15 min./BE benötigt. Damit ergeben sich folgende Kraneinsatzzeiten

- Variante 1: ~ 8 h
- Variante 2: ~ 13 h (für die Verlegung von 52 DP; Platten kommen halbiert zum Einsatz)
- Variante 3.1: ~ 25 h

Der Dieselverbrauch wird mit 42l/h angesetzt. Der Primärenergieeinsatz von 1 Liter Diesel beträgt 35,3 MJ.²⁸⁹

Daraus ergeben sich für den Kraneinsatz je nach Ausführungsvariante folgende Aufwände:

Tab. 7.9: Energieaufwand für den Kraneinsatz zur Herstellung der entwickelten Deichbauvarianten für 100 m Länge Deich

Ausführungsvariante	Kraneinsatz [h]*	Dieselverbrauch [l]	Primärenergie [MJ]
Var. 1 Oberflächendichtung	8	336	11.861
Var. 2 Innendichtung	13	546	19.274
Var. 3.1 Überlaufstrecke	25	1.050	37.065

* ermittelt bei der Erstellung des Versuchsdeichs

²⁸⁸ Prüfbericht „Auswertung der Untersuchungen an den verwendeten Deichbaumaterialien“, LS für Bodenmechanik und Grundbau, im Auftrag der Fachgruppe Bauliches Recycling, BTU Cottbus

²⁸⁹ Mettke, Angelika; Heyn, Sören: Deichbau – Nutzung ausgebauter großformatiger Betonelemente aus dem Wohnungsbau für den Hochwasserschutz, Schlussbericht, z. Zt. in Bearbeitung, Fertigstellung April 2009

Die Zusammenstellung der Energieaufwände für den Transport der Elemente und des Bodenmaterials sowie für den Kraneinsatz zum Einbau der Elemente ist nachfolgender Tab. 7.10 entnehmbar.

Tab. 7.10: Energieaufwendungen für Transport und den Einbau der RC-BE

Ausführungsvarianten	Energieaufwände [MJ]							
	Transport RC-BE			Transport Boden- material 30 km	Kran- einsatz	gesamt		
	25 km	100 km	250 km			25 km	100 km	250 km
Var. 0 Homogener Deich 1 : 3				414.882				
Var. 1 Oberflächendichtung 1 : 2	5.712	22.848	57.120	299.637	11.861	317.210	334.346	368.618
Var. 2 Innendichtung 1 : 2	3.094	12.376	30.940	305.429	19.274	327.797	337.079	355.643
Var. 3.0 Überlaufstrecke 1 : 10				979.583				
Var. 3.1 Überlaufstrecke 1 : 2	17.510	70.040	175.100	253.539	37.065	308.114	360.644	465.704
Var. 3.4 Überlaufstrecke 1 : 10 + 1 : 3				668.421				

▪ Betoneinsatz

Gebraucht wird Beton zur Herstellung des Streifenfundaments (Deichneubau) und für die Schließung der Fugen bei der Innen- und Oberflächendichtung.

Das Streifenfundament für die Innendichtung in den Abmaßen $0,80 \text{ m} \times 0,50 \text{ m}^{290}$ (Höhe \times Breite) und der Einspannungshöhe der Betonelemente im Fundament von $0,50 \text{ m}$ fasst 33 m^3 Beton auf 100 m . Bei der Verwendung von C 20/25 mit einer Rohdichte von $2,3 \text{ t/m}^3$ ergeben sich 230 t Beton.

Für die Fugendichtung der aneinandergereihten $\sim 1,80 \text{ m}$ breiten und $3,0 \text{ m}$ hohen 52 Stck. Deckenplatten ergeben sich auf 100 m Deichlänge und 2 cm Fugenbreite $\sim 0,45 \text{ m}^3$ Fugenbeton bzw. $\sim 1 \text{ t}$ ($3,0 \text{ m} \times 0,14 \text{ m} \times 0,02 \text{ m} \times 0,0084 \text{ m}^3 \text{ pro Fuge} \times 53 \text{ Fugen} \approx 0,45 \text{ m}^3$).

Für die Oberflächendichtung ergibt sich aus der Verlegung von 48 Deckenplatten eine Fugenlänge von $\sim 284 \text{ m}$ (in Längsrichtung $2 \text{ Fugen} \times 100 \text{ m} = 200 \text{ m}$, in Querrichtung $15 \text{ Fugen} \times 5,55 \text{ m} \approx 83,40 \text{ m}$). Das Fugenvolumen beträgt $\sim 3,98 \text{ m}^3$ bzw. die Fugenmasse $\sim 9,2 \text{ t}$.

Für die Überlaufstrecke (Var. 3.1) ergeben sich aus der Verlegung von 147 Deckenplatten $\sim 1.048 \text{ m}$ Fugenlänge (in Längsrichtung $8 \text{ Fugen} \times 100 \text{ m} = 800 \text{ m}$; in Querrichtung $15 \text{ Fugen} \times 16,50 \text{ m} \approx 248 \text{ m}$). Für 1.048 m Fugenlänge in einer Breite von 10 cm und einer Dicke von 14 cm sind $\sim 14,7 \text{ m}^3$ bzw. $\sim 34 \text{ t}$ Fugenbeton erforderlich.

²⁹⁰ Schmiedehausen, Rudolf: Statische Berechnung Streifenfundament für Innendichtung, im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, im Rahmen des Forschungsvorhabens „Pro Altbeton im Hochwasserschutz“, vom 05.09.2006

Gemäß Abb. 9.19 wurden für Kiesbeton 1.272 MJ/m^3 (KEA²⁹¹) ermittelt. Nach Probas hingegen wird für die Herstellung von 1 kg Beton $0,994 \text{ MJ}$ ²⁹² Energie bzw. 994 MJ/t angegeben. Dieser Wert kommt etwa in die Nähe der Angaben nach GaBiE²⁹³ für Normalbeton (unbewehrt) frei Baustelle mit $657 \text{ MJ}_{\text{prim}}/\text{t}$ (KEA). Für die weitere Berechnung werden 994 MJ/t für die Herstellung von unbewehrtem Beton zugrunde gelegt. Bei einer angenommenen Transportentfernung von 25 km vom Transporthersteller zum Einbauort kommen $\sim 50 \text{ MJ/t}$ ($25 \text{ km} \times 1,97 \text{ MJ/t} \cdot \text{km}$; vgl. Tab. 7.9) hinzu.

Für die einzelnen Varianten ergibt sich der Energieverbrauch wie folgt:

Tab. 7.11: Energieaufwand für den Betoneinsatz in den einzelnen Ausführungsvarianten bezogen auf die Herstellung von 100 m Deich

Ausführungsvarianten	Betonmenge [t]	Energieverbrauch [MJ]	Energieverbrauch Transport [MJ] (Transportentfernung 25 km)	Σ Energiebedarf [MJ]
Var. 1: Oberflächendichtung (Fugenbeton)	9,2	9.145	460	9.605
Var. 2: Innendichtung (Streifenfundament und Fugenbeton)	230 + 1	229.614	11.550	241.164
Var. 3.1: Überlaufstrecke (Fugenbeton)	34	33.796	1.700	35.496

- Einbau Bodenmaterial

Im Forschungsschlussbericht²⁹⁴ wurde von folgenden Kenndaten der eingesetzten Maschinentechnik

1 Radlader mit 86 kW,

1 Planierdraupe mit 150 kW,

1 Walze mit 150 kW Leistung

für die Berechnung des Energieaufwandes ausgegangen:

24 l/h Dieserverbrauch für Radlader

jeweils 42 l/h Dieserverbrauch für Draupe bzw. Walze.

In Summe ergibt sich somit insgesamt ein Energiebedarf von 108 l/h. Für die weitere Berechnung ist die Kenntnis des Maschineneinsatzes für die Herstellung des Deich- (Stütz-)körpers in Abhängigkeit der Böschungsneigung heranzuziehen. Die Daten sind in weiteren Analysen zu ermitteln und zugrunde zu legen. Aufgrund fehlender eigener Zeitaufnahmen wird deshalb hier lediglich darauf hingewie-

²⁹¹ KEA = Kumulierter Energie Aufwand oder graue Energie; ergibt sich aus der Summe aller Primärenergieinputs / Energiemengen, die für die Herstellung eines Produktes (inkl. Transport der Rohstoffe, Materialherstellung usw.) aufgewendet wird.

²⁹² www.probas.umweltbundesamt.de/php

²⁹³ GaBiE Ganzheitliche Bilanzierung von Prozessen und Produkten, Baustofftabellen, Forschungsstelle für Energiewirtschaft: Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen Halbzeugen, Teil 2, Baustoffe, 1999; www.ffe.de/taetigkeitsfelder/ganzheitliche-energie-emissions-und-kostenanalysen/200-gabie-ganzheitliche-bilanzierung-von-prozessen-und-produkten, aufgerufen am 08.03.2009

²⁹⁴ Mettke, Angelika; Heyn, Sören: Deichbau – Nutzung ausgebauter großformatiger Betonelemente aus dem Wohnungsbau für den Hochwasserschutz, Schlussbericht, z. Zt. in Bearbeitung, Fertigstellung April 2009

sen. Bei der abschließenden Betrachtung fehlt zwar dieser Aspekt, aber da bei den entwickelten Varianten weniger Bodenmaterial im Vergleich zu herkömmlichen Varianten einzubauen ist, wird sich dementsprechend der Energieaufwand für den Einbau auch verringern.

▪ Zusammenstellung der errechneten Energieaufwendungen

In nachstehender Tabelle 7.12 sind die errechneten Energieaufwände für die einzelnen Ausführungsvarianten gegenübergestellt.

Tab. 7.12: Energieaufwände für die einzelnen Ausführungsvarianten

Ausführungsvarianten	Energieaufwand [MJ]								Gegenüberstellung Energieaufwendungen [%] Var. 0 mit Alternativ- varianten			
	Transport Boden- material 30 km	Transport RC-BE + Kranein- satz + Transport Boden- material			Beton- einsatz	Σ Energiebedarf bei Trans- portentfernung für RC-BE				25 km	100 km	250 km
		25 km	100 km	250 km		25 km	100 km	250 km				
Var. 0 Homogener Deich 1 : 3	414.882								100			
Var. 1: Oberflächendichtung 1 : 2	299.637	317.210	334.346	368.618	9.605	326.815	343.951	378.223		79	83	92
Var. 2: Innendichtung 1 : 2 (Neubau)	305.429	327.797	337.079	355.643	241.164	568.961	578.243	596.807		137	140	144
Var. 3.0: Überlaufstrecke 1 : 10	979.583								100			
Var. 3.1: Überlaufstrecke 1 : 2	253.539	308.114	360.644	465.704	35.496	343.610	396.140	501.200		35	41	51
Var. 3.4: Überlaufstrecke 1 : 3, 1 : 10	668.421								68			

Grafisch stellt sich der Vergleich der herkömmlichen Deichbauausführung mit den entwickelten Deichbauvarianten anhand der Energieverbräuche wie folgt dar:

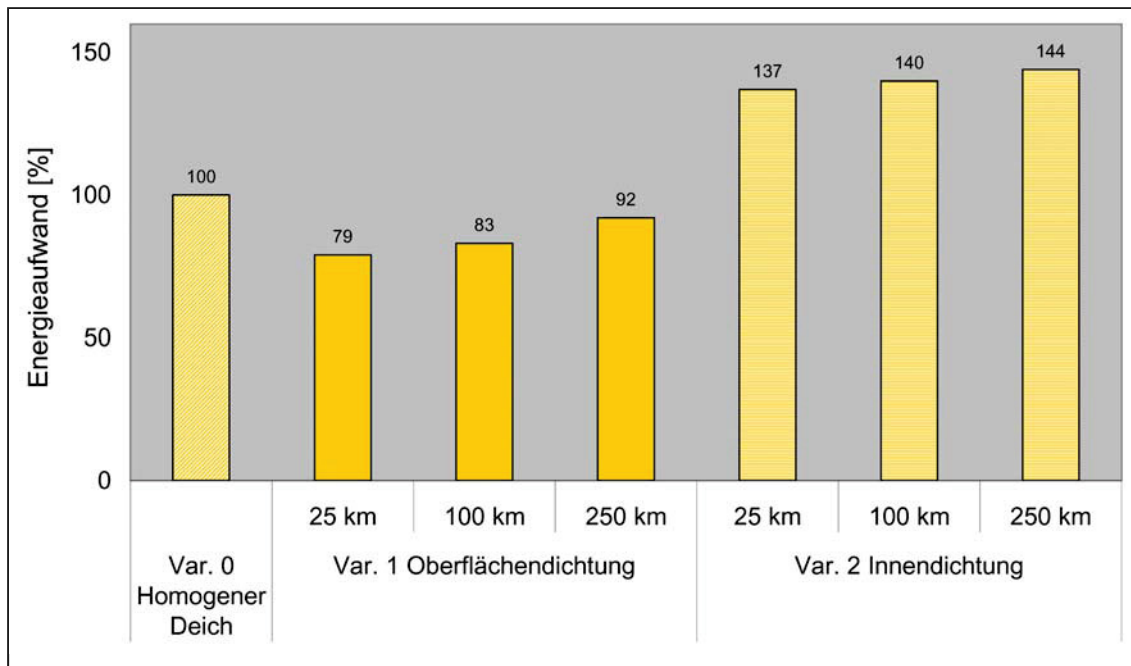


Abb. 7.16: Gegenüberstellung der Energieaufwände für ausgewählte Teilprozesse der entwickelten Deichbauvarianten mit herkömmlicher Ausführung

Am Beispiel 100 km Antransport der Elemente zur Herstellung des Oberflächendichtungssystems wird aufgezeigt, dass die energetischen Anwendungen für den Antransport der gebrauchten Betonelemente ~ 6,6 % und für das Verlegen (Kraneinsatz) ~ 3,4 % ausmachen (s. Abb. 7.17).

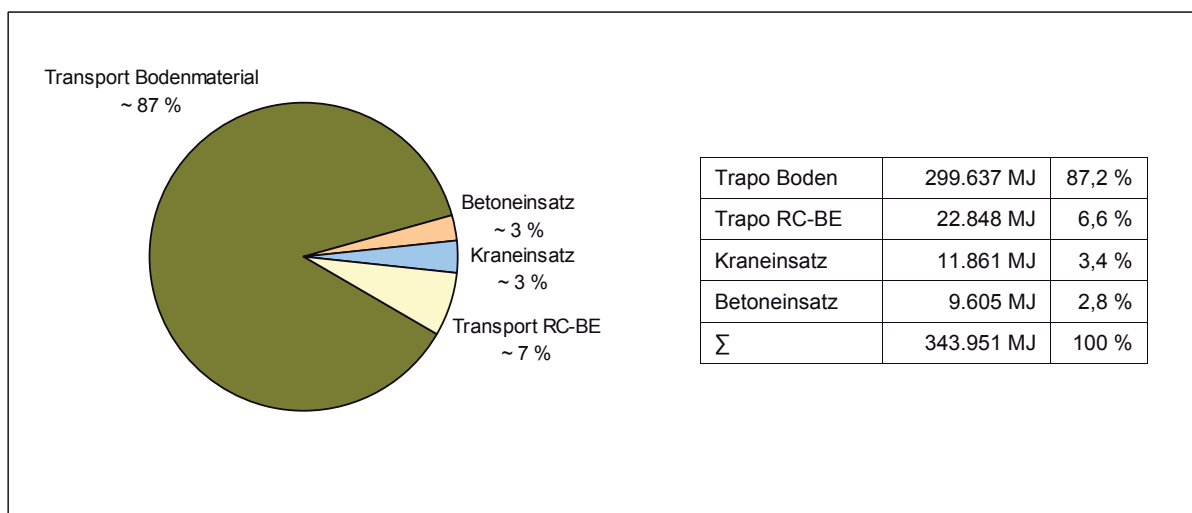


Abb. 7.17: Verteilung wesentlicher Teilprozesse für den Energieaufwand zur Herstellung der Oberflächendichtung

Nachstehend wird dies für die Herstellung der Innenwanddichtung neu zu bauender Deiche dargestellt. Der Antransport der RC-BE beträgt auch hier 100 km.

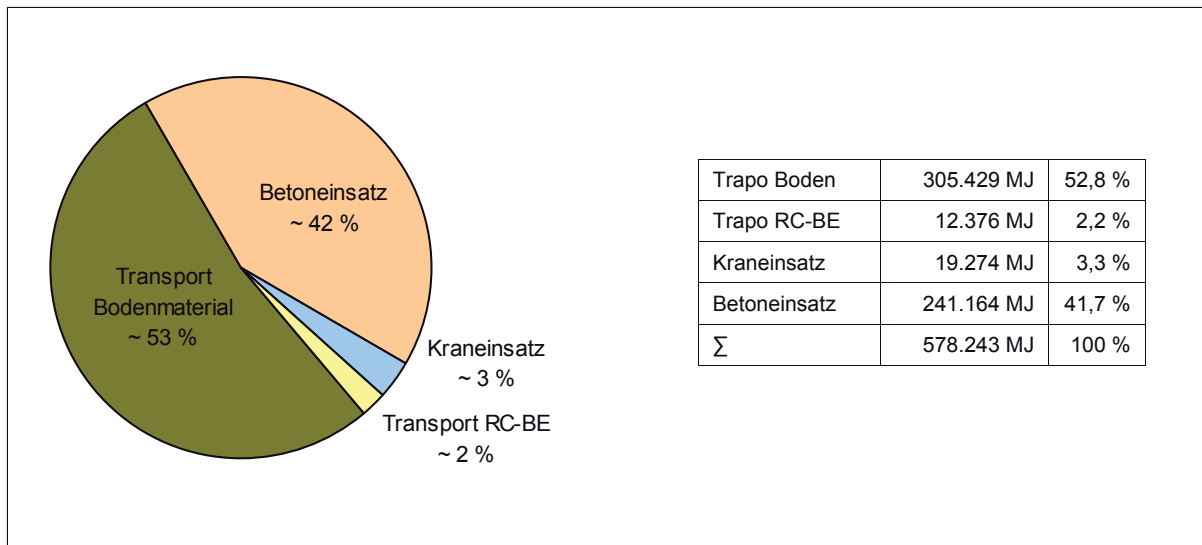


Abb. 7.18: Verteilung wesentlicher Teilprozesse für den Energieaufwand zur Herstellung der Innendichtung

Ingesamt ergibt die Berechnung der wesentlichen Teilprozesse aus energetischer Sicht einen klaren Vorteil für die Oberflächendichtung gegenüber der herkömmlichen Deichbauausführung. Der Energieaufwand kann in Abhängigkeit der Entfernung für den Transport der Deckenplatten um 8 % (bei 250 km Wegstrecke) bis zu 21 % (bei 25 km Anfahrweg) eingespart werden. Das hauptsächliche Einsparpotenzial besteht in der Verminderung des zu transportierenden Bodenmaterials für die Herstellung des Deich-(Stütz)körpers.

Der Energieaufwand für die Herstellung der Innendichtung ist aufgrund der Herstellung des Streifenfundaments um 37 % bis 43 % höher (vgl. auch Tab. 7.9 und Abb. 7.18) als eine herkömmliche Deichbauvariante.

Daraus kann man zunächst schlussfolgern, dass aus ökologischer Sicht die Herstellung von Innendichtungen mit RC-BE für den Bau von neuen Deichen nicht zu empfehlen ist. (Allerdings wäre es realistischer in diesem Fall einen Vergleich mit üblichen konstruktiven Lösungen wie z. B. das Rammen einer Spundwand zu führen.) Der Einsatz von RC-BE als Innendichtung ist scheinbar eher für Ertüchtigungsmaßnahmen geeignet. Hierfür wäre der Nachweis noch zu erbringen. In weiterführenden Forschungsarbeiten ist dies vorgesehen.

Der Vergleich der Überlaufstrecken in herkömmlicher Ausführung mit den entwickelten Varianten fällt eindeutig zugunsten der Alternativlösung aus. Die Energieeinsparungen belaufen sich in Abhängigkeit der Transportentfernung von 49 % bis 65 % gegenüber der herkömmlichen Ausführungsvariante mit der Böschungsneigung von 1 : 10.

Anzumerken ist jedoch, dass hier nur als Fugenmaterial Beton bewertet wurde. Die erprobten Fugenmaterialien Dichtungselemente, Brunnenschaum und Ton sind in weitergehenden ökologischen Untersuchungen zu bewerten, sofern sie sich technisch bewähren.

7.6.6 Fazit und Ausblick für die Nachnutzung von gebrauchten Betonelementen im Deichbau

Nach gegenwärtigem Erkenntnisstand spricht alles dafür, RC-Betonelemente zur Stabilisierung von Deichen einzusetzen. Besonders Erfolg versprechend ist die Oberflächendichtung. Die technischen, ökonomischen und ökologischen Vorteile überzeugen im Vergleich zu herkömmlichen Deichbauvarianten. Die Deckenplatten aus dem industriell hergestellten Wohnungsbau (Plattenbauten) haben sich bestens bewährt. Die Standsicherheit ist gewährleistet. Die Variante Oberflächendichtung aus RC-BE eignet sich sowohl für den Neubau von Deichen als auch für Ertüchtigungsmaßnahmen.

Die Innendichtung aus RC-BE hat sich aus technischer und ökonomischer Hinsicht als geeignet erwiesen. Im Kontext der ökologischen Parameter wird jedoch der Neubau nicht empfohlen. Ertüchtigungen von Deichen mittels RC-BE erscheinen sinnvoller, da die Herstellung des Fundaments entfällt. Empfohlen wird deshalb, die Variante Innendichtung mit RC-BE für Ertüchtigungen zu prüfen.

Im Vergleich der entwickelten Überlaufstrecken mit herkömmlichen Ausführungsvarianten sind ebenso wie bei der Oberflächendichtung alle Erwartungen erfüllt worden. Aus gesamtheitlicher Sicht haben sich die verbauten RC-BE bei den Überströmversuchen als geeignet erwiesen. Aufgrund der nicht gegebenen Frostbeständigkeit der RC-BE wird der Auftrag von einem oberflächigem Schutzsystem empfohlen.

Noch nicht abschließend geklärt ist die Dichtigkeit der Fugen resp. die Dichtigkeit des gewählten Fugenmaterials. Hierzu werden weiterführend geeignete Lösungen zu diskutieren und zu testen sein. Tendenziell zeichnen sich Bentonitpackungen als sinnvoll ab.

Nennenswert ist, dass der Einsatz der Betonelemente im Deichbau in allen drei entwickelten Einsatzvarianten zu einer wesentlichen höheren Dauerhaftigkeit der Bauwerke führen wird. Dies ist das rechnerische Resultat aus der Verhinderung der Durchsickerung des Deiches aufgrund der Dichtungsschichten aus Betonelementen, die wasserdicht sind.

Zudem haben Wühltiere wie Maulwurf, Wanderratte, Kaninchen, Bisam und Biber keine Chance, den Deichkörper direkt zu schädigen. Der Bau von Gängen endet spätestens an der Betonwand. Insofern dient die Betondichtwand als konstruktives Sicherungsmittel gegen Wühltierbefall.

Außerdem ist erwartungsgemäß durch den Einsatz der Betonelemente ein verbesserter Erosionsschutz der Deichoberflächen bei der Überströmung des Deiches gegeben. Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus der wesentlich geringeren Flächeninanspruchnahme um bis fast 30 %. Dies ist v. a. relevant aus Sicht des Grundeigentums. I. d. R. grenzen Deiche wasser- wie luftseitig am Grundeigentum Dritter an. Aufgrund des geringeren Volumens des Erdkörpers durch den Einsatz der Betonelemente werden beim Deichbau zudem rd. 28 % Bodenmaterialmengen eingespart.

Bei den entwickelten Überlaufstrecken ergeben sich noch größere Einsparungseffekte: der Flächenverbrauch wird zu mehr als 76 % im Vergleich zur Böschungsneigung 1 : 10 reduziert, die Bodenmaterialmengen verringern sich um knapp 75 %. Dies führt sowohl zu einem Kostenvorteil als auch zu einem ökologischen Vorteil infolge des geringeren Transportvolumens, der verringerten LKW-Fahrten, des verminderten Verbrauchs an natürlichen Rohstoffen etc.

Die entwickelten Deichbauvarianten bieten demnach eine Erfolg versprechende, neue technische und technologische Lösung.

Der Einsatz der gebrauchten Betonelemente ist außer im Deichbau möglich:

- bei Rekultivierungsmaßnahmen der Tagebaurestflächen,
- zur notwendigen Verlegung, Umgestaltung und Wiederherstellung von natürlichen Wasserläufen und Kanälen sowie
- bei der oberirdischen Wasserhaltung des Grubenwassers,
- als kostengünstige Herstellung von Wasserreservoirs z. B. für Löschwasser oder als Absetzbecken für die Grubenwasserreinigung und –aufbereitung,
- in Schutzwällen und Dämmen bspw. für den Straßen- und Wegebau,
- in Lärmschutzdämmen,
- zur Sicherung und Abdichtung und somit rutschungssicheren Herstellung von Böschungssystemen durch die Unterbindung der Durchfeuchtung in steilen Böschungslagen,
- zur Herstellung von Uferbefestigungen von Gräben, Kanälen und Fließen sowie der Errichtung von Wasserbauwerken zur Entwässerung großer Wohn- und Gewerbeflächen u. a. m.

7.7 Wiederverwendung von gebrauchten Betonelementen in Osteuropa

Der Anlass der Untersuchungen zur grenzüberschreitenden Vermarktung von gebrauchten Betonelementen besteht darin, die Probleme des Wohnungsüberhangs in Ostdeutschland mit dem dringenden Wohnraumbedarf in osteuropäischen Ländern zu vernetzen. Im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Forschungsvorhabens „Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa“²⁹⁵ konnte untersucht werden, ob die Errichtung von Wohnhäusern unter Verwendung gebrauchter Betonelemente auf europäischer Ebene eine nachhaltige Erfolg versprechende Lösung ist. Besonderes Augenmerk gilt der ganzheitlichen Bewertung nach wirtschaftlichen, umwelt- und sozialverträglichen Prämissen. Festzustellen war, ob und unter welchen Voraussetzungen dieser Vermarktungsweg umgesetzt werden kann.

Im Zusammenhang einer erfolgreichen Markteinführung sind drei grundsätzliche Fragen zu klären:

1. Die Gewährleistung der Qualität gebrauchter Betonelemente wie für neue Betonteile (vgl. Kap. 6),
2. Der Preisvorteil für den Bauträger / Bauherren und
3. Die Umweltbelastung / -verträglichkeit der Maßnahme.

²⁹⁵ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Ivanov, Evgeny: Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa, Endbericht Bearbeitungsphase I zum Forschungsvorhaben „Wissenschaftliche Vorbereitung und Planung des Rückbaus von Plattenbauten und der Wiederverwendung geeigneter Plattenbauteile in Tschechien“, FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, vom 30.05.2008

Die vorbereitenden Maßnahmen zum Hausbau in Vororten von Sankt Petersburg sind am weitesten fortgeschritten. Nachfolgend werden ausgewählte Untersuchungsergebnisse zur Wirtschaftlichkeit und ökologischen Relevanz diskutiert.

7.7.1 Wirtschaftliche Bewertung zum Bau von Wohnhäusern in Sankt Petersburg

Der finanzielle Aufwand zur Bereitstellung gebrauchter Betonelemente in Vorbereitung ihrer Wiederverwendung $K_{WV \text{ bereit}}$ ergibt sich aus:²⁹⁶

$$K_{WV \text{ bereit}} = K_{\text{bereit}} + K_{\text{Prüf}} + K_{\text{Auf}} + K_{\text{TUL}} + K_{\text{Zoll}} \quad (7.1)$$

$K_{WV \text{ bereit}}$	Kosten zur Bereitstellung gebrauchter Betonelemente (BE) auf der Remontagebaustelle
K_{bereit}	Kosten für die Bereitstellung wiederverwendungsgerechter BE auf der Demontagebaustelle
$K_{\text{Prüf}}$	Kosten für Bauzustandsanalyse (Konformitätsprüfung / Zertifizierung)
K_{Auf}	Kosten für die Bauteilaufarbeitung
K_{TUL}	Kosten für Transporte, Umschlag und Zwischenlagerung
K_{Zoll}	Zollgebühren

Unter monetärem Gesichtspunkt wird derzeit und auch noch in naher Zukunft eine Wiederverwendung akzeptiert, wenn

$$K_{WV \text{ bereit}} \ll K_{\text{Neu}} \quad (7.2)$$

mit K_{Neu} Bauelementeneuteilpreis

Die Anforderung der niedrigeren Kosten bei (Wieder-)neubauten gegenüber konventionellen Neubauten muss erfüllt sein, um auf den ohnehin schon sehr hart umkämpften Baumarkt das „neue“ Produkt „Alte Platte / gebrauchte Platte / RC-Betonelement“ erfolgreich zu platzieren. Von Interesse ist, zu welchen Kosten das wiederverwendungsgerechte RC-Bauelement bereitgestellt werden kann, ist es gegenüber neuen Betonfertigteilen konkurrenzfähig und in welchem Umfang sind RC-Betonelemente verfügbar.

Der Anbieter (das Rückbauunternehmen oder der Bauherr des Spendergebäudes) in Deutschland ist nicht nur mithin an der Abnahme der rückgebauten Betonelemente interessiert, um Entsorgungskosten zu sparen, sondern am Verkauf um den Mehraufwand für das sorgfältige Ausbauen der rohen Betonelemente honoriert zu bekommen. Das trifft im Wesentlichen für das Abtragen der Estrichschicht auf den Deckenplatten zu, sofern diese nicht als „schwimmender Estrich“ ausgeführt wurde.

²⁹⁶ vgl. Mettke, Angelika: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 143 ff.

- Kosten für die Bereitstellung wiederverwendungsgerechter RC-Betonelemente

Gegenwärtig werden pro m² Elementfläche zwischen 3 und 4 Euro für rückgebaute Betonelemente gezahlt. Für eine bspw. 6 m × 1,80 m Deckenplatte würden demnach 32,40 € bis 43,20 € zu entrichten sein (zum Vergleich: eine neue Deckenplatte gleicher Abmessung kostet in Deutschland i. M. ca. 890 €).

- Kosten für die Bauzustandsanalyse

Da derzeit die zu untersuchenden Prüfkriterien und der Untersuchungsumfang von den Vorgaben des Prüfeningenieurs abhängt bzw. von der jeweiligen Baugenehmigung, ist es schwierig, die Prüfkosten zu beziffern. Eine Abfrage der Fachgruppe Bauliches Recycling im Jahr 2005 zu den Prüfkosten (Bewertung der Druckfestigkeit und der Betonüberdeckung) zeigt eine gravierende Preisspanne von 48,50 € bis 300 € pro Bauteilprüfung.²⁹⁷

- Kosten für die Bauteilaufarbeitung

Aufarbeitungsmaßnahmen werden sich hauptsächlich – wenn überhaupt – auf das Entfernen von punktuell anhaftenden Mörtelresten an Decken- und Wandplattenkanten beschränken. Sofern Reprofilierungen erforderlich werden (vgl. Kap. 4.9.1), wird dies in der Praxis nach der Remontage im Zuge der Fugenvermörtelung mit ausgeführt werden.

Für das Entfernen fester Verunreinigungen bspw. an Deckenplatten werden Kosten in Höhe von 2,20 €/m² angesetzt.²⁹⁸ Müssten alle Kanten einer 6 m × 1,80 m × 0,14 m Deckenplatte (Systemmaße) gereinigt werden, würden sich Kosten zu 4,80 € pro Deckenplatte ergeben.

In Abhängigkeit der Art und des Umfangs der Aufarbeitungs- oder der Instandsetzungsmaßnahme gibt es eine Vielfalt von unterschiedlichen Materialien und Verfahren in verschiedenen Preissegmenten. Eine Kostenermittlung ist deshalb nur am konkreten Fall möglich.

Die qualitative Ausführung der Demontage resp. das Öffnen / Trennen der Fugen und Verbindungsmittel und die gewählte Anschlagvariante beeinflussen entscheidend, ob eine Aufarbeitung notwendig wird oder nicht.

Die wissenschaftlich begleitenden Untersuchungen, die im Zusammenhang mit den Entscheidungsfindungen zur Wiederverwendung im Rahmen der Hauptprüfung durchgeführt wurden, belegen, dass v. a. das Sortiment der Deckenplatten und Innenwände gebrauchsfähig, ohne Aufarbeitung, bereitgestellt werden kann.

Aufgrund der niedrigen Personalkosten in den osteuropäischen Ländern im Vergleich zu Deutschland kann davon ausgegangen werden, dass – sofern eine Aufarbeitung erforderlich wird – diese nicht ins Gewicht fallen.

²⁹⁷ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Ivanov, Evgeny: Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa, Endbericht Bearbeitungsphase I zum Forschungsvorhaben „Wissenschaftliche Vorbereitung und Planung des Rückbaus von Plattenbauten und der Wiederverwendung geeigneter Plattenbauteile in Tschechien“, FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, vom 30.05.2008, S. 215 f.

²⁹⁸ ebenda, S. 218

- Transportkosten

Die Untersuchungen zum Bauelementetransport nach Sankt Petersburg erfolgten anhand mehrerer Varianten (fett hervorgehoben ist das jeweilige Kerntransportmittel):

- Kombination LKW – **Bahn** – LKW (ausschließlich Landtransport),
- Kombination LKW - Bahn – **RoRo-Fähre**²⁹⁹ – LKW (Land – Seeweg – Landtransport),
- Kombination LKW – Bahn – **RoRo-Fähre** – **Bahn** – LKW (Land – Seeweg – Landtransport),
- LKW** (ausschließlich Landtransport),
- Kombination LKW – **Containerschiff** – LKW (Land – Seeweg – Landtransport),
- Kombination LKW – **Binnenschiff** – **Containerschiff** - LKW (Land – Seeweg – Landtransport).

Der Berechnung wurde im ersten Schritt folgender Ansatz zugrunde gelegt:

- Für die Errichtung einer Wohnsiedlung mit Ein- und Mehrfamilienhäusern sind 1.270 Betonelemente (470 Deckenplatten, 800 Innenwände) mit einer Gesamtmasse von rd. 3.950 t zu transportieren.
- Das Spendergebäude befindet sich in Cottbus.

Abb. 7.19 gibt einen Überblick über die Anzahl der notwendigen Umschlagprozesse (Ifd. Nr. 1 bis 5) in Abhängigkeit der Transportvariante.

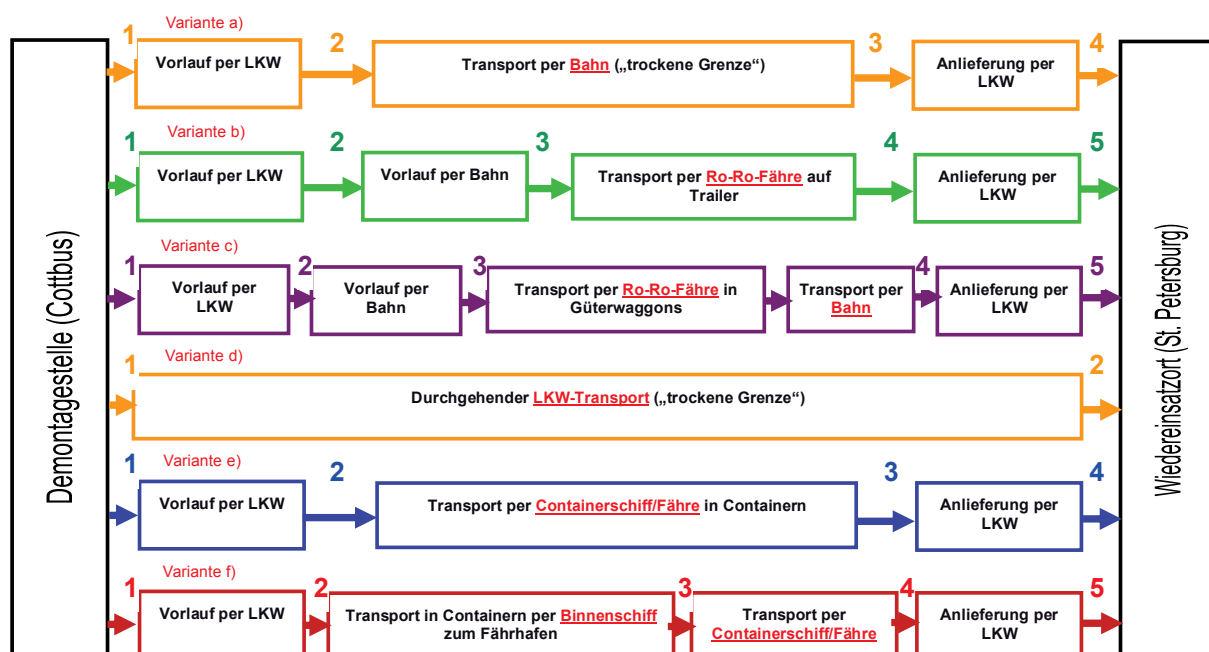


Abb. 7.19: Darstellung möglicher Transportvarianten für einen Bauteiltransport nach St. Petersburg³⁰⁰

²⁹⁹ Beim RoRo-Verfahren (roll on – roll off) handelt es sich um den Transport von Gütern, die bereits auf Fahrzeuge verladen sind, z.B. Sattelzuganhänger, Güterwaggon. Die RoRo-Fähren sind mit entsprechenden Vorrichtungen wie Bahnschienen ausgestattet.

³⁰⁰ Ivanov, Evgeny: Vermarktung gebrauchter Stahlbetonelemente im Raum St. Petersburg, Studienarbeit, FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, 2007, S. 8

Die ermittelten Transportkosten pro Tonne Bauelement je Kilometer sind in nachfolgender Abb. 7.20 dargestellt.

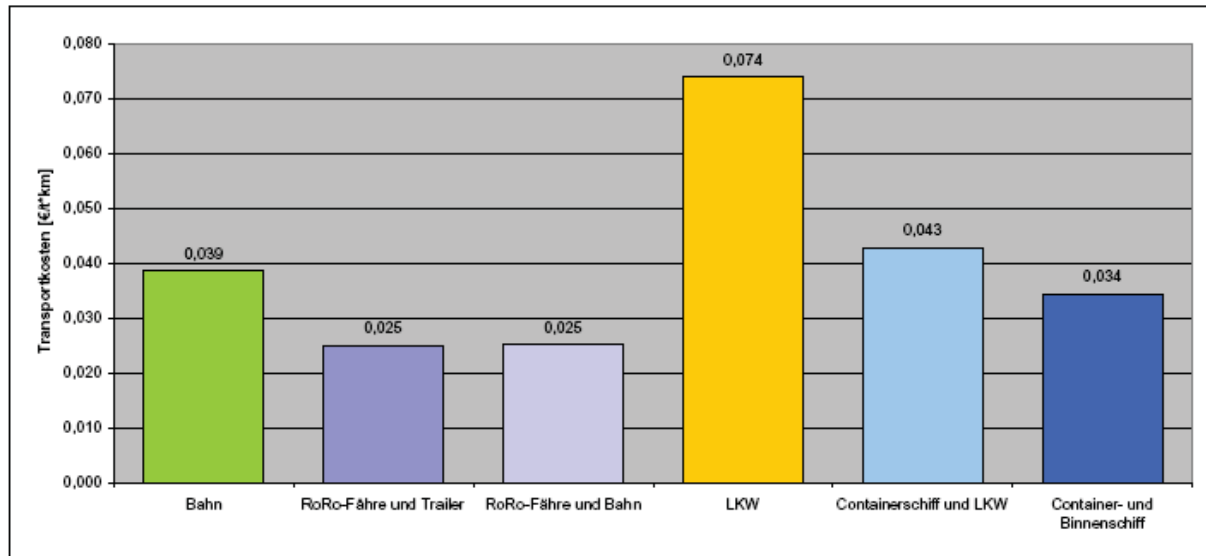


Abb. 7.20: Vergleich der Kosten der verschiedenen Transportkombinationen³⁰¹

Im Vergleich der untersuchten Transportvarianten kombiniert mit unterschiedlichen Transportmitteln zeigt sich ein deutlicher Vorteil zugunsten von RoRo-Fahren als Kerntransportmittel.

Hinzuweisen ist allerdings darauf, dass es sich hierbei nur um Richtwerte handelt, da von Durchschnittswerten und Hochrechnungen ausgegangen wurde.

- Kostenvergleich: Wiederverwendung gebrauchter Betonelemente mit neu produzierten Betonfertigteilen in Russland

Am Beispiel eines entwickelten Einfamilienhauses mit 116 m² Wohnfläche wurden die Kosten für den Rohbau abgeschätzt. Das Verhältnis Deckenplatten – zur Innenwandplattenverwendung beträgt gemäß dem Entwurf 3 : 5 (10 Deckenplatten, 16 Innenwandplatten davon 10 mit Türöffnung).

Als Grundlage für die Neuteilpreise in Russland wurden Basisanschlagpreise und die durch die Bundesagentur für Bauwesen und Kommunalwirtschaft festgelegten Umrechnungskoeffizienten (1. Quartal 2007, für Leningrader Gebiet: 3,66) verwendet.

Der Neupreis (inkl. 18 % MwSt) für vergleichbare in Betonwerken im Raum Sankt Petersburg hergestellter Betonfertigteile beträgt umgerechnet ca.

264 € für eine Deckenplatte 5,97 × 1,785 × 0,14 m, 3,5 t

462 € für eine Innenwand 3,58 × 2,635 × 0,15 m, 3,15 t

330 € für eine Innenwand mit Tür 3,58 × 2,635 × 0,15 m, 2,63 t.³⁰²

³⁰¹ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Ivanov, Evgeny: Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa, Endbericht Bearbeitungsphase I zum Forschungsvorhaben „Wissenschaftliche Vorbereitung und Planung des Rückbaus von Plattenbauten und der Wiederverwendung geeigneter Plattenbauteile in Tschechien“, FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, vom 30.05.2008, S. 240

³⁰² ebenda, S. 245

Unter dem Ansatz, dass

$K_{\text{bereit}} = 35 \text{ € / Element}$

$K_{\text{Prüf}} = 20 \text{ € / Element}$ (bei 3 Stichproben pro Sortiment: 9 Prüfungen à 60 € = 540 € : 26 Elemente)

$K_{\text{TUL}} = 171 \text{ € / Deckenplatte (Var. b)}; 198 \text{ € / Deckenplatte (Var. c)}$

$K_{\text{TUL}} = 169 \text{ € / Innenwand (Var. b)}; 196 \text{ € / Innenwand (Var. c)}$

$K_{\text{TUL}} = 142 \text{ € / Innenwand mit Tür (Var. b)}; 163 \text{ € / Innenwand mit Tür (Var. c)}$

betragen, ergeben sich deutliche Kostenvorteile nach Var. b) für den Einsatz von gebrauchten Betonelementen gegenüber den neu hergestellten in Russland (s. Abb. 7.21). Die Remontagekosten sind hierbei nicht berücksichtigt, denn der Vergleich bezieht sich nicht auf die Errichtung des (Wieder-) Neubaus, sondern auf die Materialbereitstellung dafür. Zudem sind allerdings im weiteren Zollgebühren einzukalkulieren.

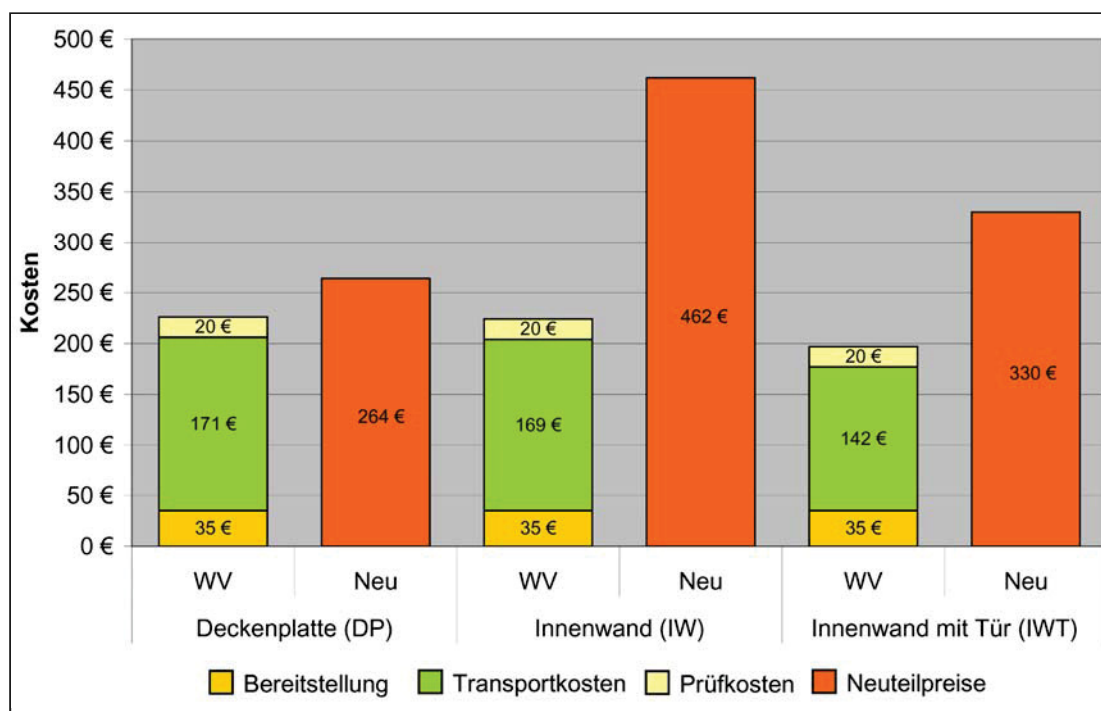


Abb. 7.21: Vergleich der Neuteilpreise für Betonelemente hergestellt in St. Petersburg und den Kosten gebrauchter Betonelemente aus Deutschland nach Var. b) + Var. c) (Transport-, Bereitstellungs- und Prüfkosten)

Im Einzelnen ergeben sich folgende elementebezogene Kostenvorteile durch den Einsatz gebrauchter BE, wenn die Transportvariante b) greift:

für eine Deckenplatte: -38 €

für eine Innenwand: -238 €

für eine Innenwand mit Tür: -133 €

Für das o. a. Einfamilienhaus stellen sich die Materialkosten im Vergleich zwischen gebrauchten und neuen Betonfertigteilen folgendermaßen dar:

Tab. 7.13: Kostenschätzung zum Bau eines EFH mit neuen Betonfertigteilen und mit RC-Betonelementen in Russland

Elemente- sortiment	Abmessung	benötigte Anzahl	Kosten		Gesamtkosten		Kosten- vorteil RC-BE
			BE neu	RC-BE	BE neu	RC-BE	
	[m]	Stck.	[€ / Element]		[€]		[%]
Deckenplatte	5,97 × 1,785 × 0,14	10	264	226	2.640	2.260	14,4
Innenwand	3,58 × 2,635 × 0,15	16	462	224	7.395	3.584	51,5
Innenwand mit Tür	3,58 × 2,635 × 0,15	10	330	197	3.300	1.970	40,3
Gesamtkosten zur Bereitstellung der BE					13.332	7.814	41,4

Der Kostenvorteil für die Bereitstellung von gebrauchten Wand- und Deckenelementen aus einem Spendergebäude in Cottbus gegenüber neu gefertigten baugleichen Elementen zur Errichtung eines Einfamilienhauses in St. Petersburg liegt bei 41 %. Zwar kommen noch Zollgebühren hinzu, aber der Kostenvorteil ist so hoch, dass (Wieder)Neubauten aus wirtschaftlicher Sicht interessant sind und schätzungsweise unter praktischen Bedingungen über 30 % Kosten eingespart werden können.

Der tatsächliche Kostenvorteil kann jedoch erst an einem Pilotvorhaben mittels praktischer Umsetzung ermittelt werden.

Kostengünstiger wird die Nachnutzung von Betonelementen, wenn die Transportwege vom Spendergebäude bis zum Hafen gering sind. Bei der hier vorgestellten Modellrechnung ist von einem ungünstigen Fall, von einem längeren Transportweg ausgegangen. Allerdings wird es aus logistischen Gründen erforderlich, eine Zwischenlagerfläche am Hafen einzurichten.

Da die Transportkosten den größten Anteil der Kosten zur Bereitstellung der RC-Betonelemente ausmachen (s. Abb. 7.21), sind an den Transport bestimmte Anforderungen zu stellen, wie z. B. die Auslastung der Ladekapazität der Transportmittel und den Umschlag in „Plattenpaket“ (Container) zu realisieren.

Diesen Fragestellungen sollen in dem derzeit von der DBU geförderten Forschungsvorhaben „Ökonomische und ökologische Bilanzierung des Transportes von Betonplattenbauteilen aus dem Rückbau von Wohnbauten in Deutschland in Länder Osteuropas und dortige Wiederverwendung beim Neubau von Wohngebäuden“ analysiert und effektiv gelöst werden.

7.7.2 Energetische Bewertung

- Energetische Betrachtung der Transportaufwendungen

Der Energiebedarf für den Transportaufwand ergibt sich aus dem eingesetzten Transportmittel, der Transportentfernung, Transportgeschwindigkeit und Transportauslastung.

Folgender Ansatz wird für die Bewertung des Energieaufwandes zugrunde gelegt:

- bewertet wird die Kombination: Land – Seeweg – Landtransport,

Variante b) Bahn – **RoRo-Fähre** – LKW und

Variante c) LKW – Bahn – **RoRo-Fähre** – **Bahn** – LKW

als kostengünstige Varianten.

- Die Entfernung De- und Remontagebaustelle beträgt für Variante B) ~ 2.082 km, für Variante c) ~ 2.400 km (s. Abb. 7.22).

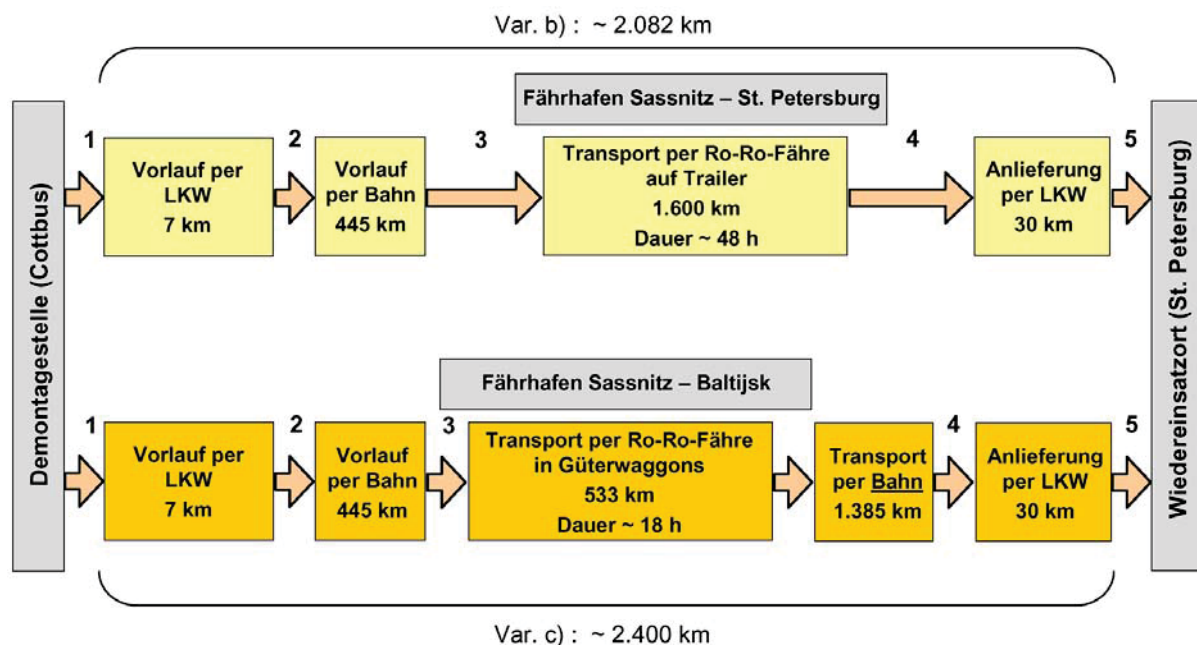


Abb. 7.22: Transportentfernungen für das jeweilige Transportmittel für einen Bauteiltransport von Cottbus bis St. Petersburg

Als Basis für die Energie- und Emissionsdaten zum Transport dient die ProBas-Datenbank³⁰³. Die Energieaufwände für die verschiedenen Transportmittel sind in Tab. 7.14 angegeben.

Tab. 7.14: Energieaufwände der verschiedenen Transportmittel

Transportmittel	Energieträger	Energieaufwand [MJ/t*km]
Überseefrachter	Schweröl	0,100
Bahn	Diesel	0,327
Binnenfrachtschiff	Diesel	0,350
Bahn	Strom	0,360
LKW	Diesel	1,33

³⁰³ ProBas: Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente;
www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php

Für den Transport der RC-Betonelemente von Cottbus nach St. Petersburg zur Wiederverwendung für den Bau eines EFH ergibt sich der Energieaufwand für Var. b) zu ~ 29,7 GJ und für Var. c) zu ~ 57,3 GJ (s. Tab. 7.15).

Tab. 7.15: Gegenüberstellung Energiebedarf der beiden kostengünstigsten Transportvarianten für den Bau eines EFH (116 m²) mit 36 RC-BE

Teilprozesse	Transportmittel	Transporte für Wiederverwendung / Neubauteile			
		M [t]	s [km]	KEA [MJ/t · km]	Energieaufwand [MJ]
Variante b)		80,2			
Vorlauf	LKW (Diesel)		7	1,33	747
Bahntransport	Bahn (Strom)		445	0,36	12.848
Seetransport	Frachter (Schweröl)		1.600	0,10	12.832
Nachlauf	LKW (Diesel)		30	1,33	3.200
Gesamt					29.627
Variante c)		80,2			
Vorlauf	LKW (Diesel)		7	1,33	747
Bahntransport	Bahn (Strom)		445	0,36	12.848
Seetransport	Frachter (Schweröl)		533	0,10	4.275
Bahntransport	Bahn (Diesel)		1.385	0,327	36.322
Nachlauf	LKW (Diesel)		30	1,33	3.200
Gesamt					57.392

Es zeigt sich somit deutlich, dass die Transportvariante b) um fast die Hälfte weniger Energie verbraucht.

- Primärenergiegehalt RC-Betonfertigteile

Nachfolgend soll der Energieaufwand für den Transport der RC-Betonelemente den ihnen innewohnenden Energieaufwand gegenübergestellt werden, um zu ermitteln, ob sich ein energetischer Vorteil auch über einen weiten Transportweg ergibt.

Als energetischer Inhalt der Betonfertigteile wird ein KEA_H von 3.080 MJ/t³⁰⁴ angesetzt (vgl. Kap. 8.2.3). Vereinfachend wurde für alle Betonfertigteile eine Festigkeitsklasse C 20/25 (B 25) unter Verwendung von Portlandzement, Dampferhärtung, angenommen.

Für das exemplarisch untersuchte EFH mit 80,2 Tonnen Betonfertigteilen ergeben sich 247.016 MJ.

Der Elementetransport nach Var. b) verbraucht ~ 29.627 MJ. Das sind gerade einmal 12 % des Energiebedarfs, der für die Neuproduktion erforderlich wäre. Es werden 217.389 MJ (\pm 60.386 kWh) eingespart. Diese Bilanz fällt eindeutig zugunsten der Wiederverwendung aus selbst bei einer Transportentfernung von über 2.000 km.

³⁰⁴ GaBiE, Forschungsstelle für Energiewirtschaft: Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen, Teil 2 Baustoffe, 1999, S. 60

7.8 Fazit, Ausblick

Die hier aufgezeigten und zum überwiegenden Teil initiierten Nachnutzungsmöglichkeiten für demontrierte Betonelemente im Bereich der Wohnungs-, Sport-, Freizeit- und Umweltbauten sollen Anregung geben, mit vorhandenen Werten und Ressourcen effizienter umzugehen als dies bisher geschieht. Die technische Realisierbarkeit, der preisliche und der ökologische Vorteil für Wieder- und Weiterverwendungen sind absolut überzeugend. Am kostengünstigsten funktionieren Wieder- und Weiterverwendungen natürlich, wenn Spender- und Empfängerbauten zeitlich und räumlich nahe beieinander liegen.

Der Gestaltungsspielraum v. a. im Hausbau ist sehr viel größer als erwartet. Der breite Spielraum für Wieder- und Weiterverwendungen ist durch die realisierten Maßnahmen nachweislich und eindrucksvoll. Und die sich noch in der Planungsphase befindlichen Vorhaben werden nach ihrer Umsetzung weitere Bausteine liefern.

Auch in den nächsten Jahren ist mit einer verstärkten Umsetzung von Teilrückbaumaßnahmen zu rechnen. Verstärkt greifen Maßnahmen unter bewohnten Bedingungen. Dies vereint mehrere Vorteile, v. a. den, dass die Betonfertigteile nicht durch den Trennungsprozess beeinflusst werden, sondern beschädigungsfrei und damit gebrauchsfertig anfallen. Gerade beim Teilrückbau ohne Puffergeschoss wird aus Sicherheitsgründen besonders behutsam bzw. sorgfältig gearbeitet, was sich absolut begünstigend auf den Bauzustand der Betonelemente auswirkt. Die Verfügbarkeit der RC-Betonelemente aus Rückbauvorhaben ist schätzungsweise für die nächsten 10 Jahre gesichert, weil immer noch in Ostdeutschland ein hoher Wohnungsüberhang besteht.

Hinsichtlich einer weiteren Forcierung von Wieder- und Weiterverwendungsmaßnahmen wird es jedoch erforderlich, die genehmigungsrechtliche Seite zu verbessern. Es fehlen derzeit bundeseinheitliche Vorgaben zur Wieder- und Weiterverwendung von schon einmal in Nutzung gewesenen Betonelementen, die den bisherigen Genehmigungsaufwand, der Zustimmung im Einzelfall, verringern werden und auch müssen.

Durch die öffentlichkeitswirksame und ingenieurwissenschaftliche Unterstützung von Produktrecyclingmaßnahmen sollen weitere Impulse für innovative, nachhaltige Lösungen auch grenzüberschreitend geschaffen werden. Vorbereitet werden derzeit Maßnahmen zum Hausbau in Vororten von St. Petersburg und Kaliningrad sowie in grenznahen Städten in Polen. Ein grenzüberschreitender Einsatz von gebrauchten Betonelementen hat bisher noch nicht stattgefunden.

In Deutschland stehen Mehrzweckbauten und Ferienhäuser und v. a. der Bau von Vereinshäusern unter Verwendung von gebrauchten Betonelementen an. Außerdem ist es geplant, Schutzbauten für Katastrophenfälle zu entwickeln und zu erproben.

Daneben soll die Weiterverwendung der Platten im Deichbau weiter erforscht werden. Dazu zählen Belastungsversuche im Kronenbereich, die Verwendung von geringen durchlässigen Böden für den Bau des Deichkörpers mit innovativen Dichtungssystemen, um die Stabilität der Deiche nachzuweisen sowie die RC-BE-Innendichtung für Ertüchtigungsmaßnahmen zu testen.

8 Wirtschaftliche und ökologische Bewertung des Betonbauteil- resp. Produktrecyclings

An dieser Stelle soll eine ganzheitliche ökonomische und ökologische Bewertung zur Wiederverwendung von Betonelementen im Vergleich zur Verwertung von rezyklierten, in RC-Anlagen aufbereiteten Betonelementen, durchgeführt werden. Basis der Daten bilden eigene Nachkalkulationen, publiziert in nachstehend zitierten Forschungsberichten, sowie weitergehende Angaben aus der Literatur. Da die Datenbasis noch sehr gering ist, können die ermittelten Größen jedoch nur als Richtwerte herangezogen werden.

Bei der Bewertung wird von folgendem Modell / zu realisierender Maßnahme ausgegangen:

Ein 5-geschossiger Plattenbau mit 3 Eingängen (Standardgebäude, P2-Typ mit 30 WE) soll um 2 Etagen bzw. 12 WE rückgebaut werden. Die durch die Demontage anfallenden Bauelemente können entweder für eine Wiederverwendung als Bauteil vorgesehen oder – so wie es der Stand der Technik ist – einer RC-Anlage zugeführt werden. Anhand von 3 Szenarien erfolgt die ökonomische und ökologische Bewertung.

- Szenario 1 „Nachhaltigkeitsszenario“³⁰⁵ (vgl. Abb. 8.1) umfasst folgende Teilprozesse

- Demontage von 12 WE (Dachgeschoss und 2 Normalgeschosse)
 - pro WE sind ~ 60 t Beton verbaut
 - in Summe sind 345 BE verbaut; darin enthalten sind 39 Loggiaelemente³⁰⁶
 - es wird davon ausgegangen, dass alle verbauten Deckenplatten (DP) und tragenden Innenwände (IW) wiederverwendungsges geeignet sind (vgl. Kap. 6.2); nachstehende Tab. 8.1 gibt darüber einen Überblick:

Tab. 8.1: Verbaute Decken und Innenwände im 4. und 5. Geschoss eines P2-Gebäudes

Sorti- ment	An- zahl	Gesamtanzahl je Sortiment	Abmaße der BE	Masse	Masse i. M.	Masse gesamt	Masse gesamt je Sortiment
	[Stck.]		[m]	[t/BE]	[t/BE]	[t]	[t]
Decken- platten (DP)	48	72	5,97 × 1,785 × 0,14	3,536	3,2	169,8	226
	24	(Ø 9,60 m² / DP)	4,17 × 1,785 × 0,14	2,34		56,2	
Innen- wände (IW)	12	48 (Ø 10,3 m² / IW)	4,095 × 2,785 × 0,15	2,77	2,8	33,3	134,2
	18		3,58 × 2,785 × 0,15	2,99		53,8	
	6		3,41 × 2,785 × 0,15	3,15		18,9	
	12		3,58 × 2,785 × 0,15	2,35		28,2	
Σ		120				360,2	

³⁰⁵ zu prüfender, zukunftsweisender Lösungsvorschlag

³⁰⁶ aus Mettke, Angelika (Hrsg.): Plattenbauten, Wieder- und Weiterverwendungen, Anwendungskatalog II, BTU Cottbus, 2003, S. 12 ff.

- Die verbaute Anzahl der Elemente ergibt unter der Annahme, dass 10 DP und 16 IW für den Bau eines Einfamilienhauses (vgl. Kap. 7.6.1) benötigt werden, Wiederverwendungsmaterial für 3 solche Einfamilienhäuser. Außerdem stünden noch 42 Deckenplatten zur Verfügung, die anderweitig nachnutzbar sind wie bspw. in Wirtschaftsgebäuden oder Garagen.
- Transport von 30 DP und 48 IW zur Remontagebaustelle; Annahme Transportentfernung vom Spender- zum Empfängergebäude: 30 km
- Remontage der RC-BE
- Transport von 42 DP auf ein 30 km weit entferntes Zwischenlager (Var. a) oder Vorbrechen der 42 DP (~120 t) gemeinsam mit den anderen rückgebauten BE (~360 t) auf der Demontagestelle mit anschließender Anlieferung des Bauschutts an eine 30 km weit entfernte RC-Anlage.

D. h. Szenario 1 setzt sich zusammen aus Teilrückbau mit Wiederverwendung von DP und IW für 3 EFH und a) Wieder- und / oder Weiterverwendung der restlichen wiederverwendungsgerechten DP und Anlieferung der restlichen Betonmassen zur RC-Anlage bzw. b) alle anderen zurückgebauten BE werden zur RC-Anlage zur stofflichen Aufbereitung transportiert.

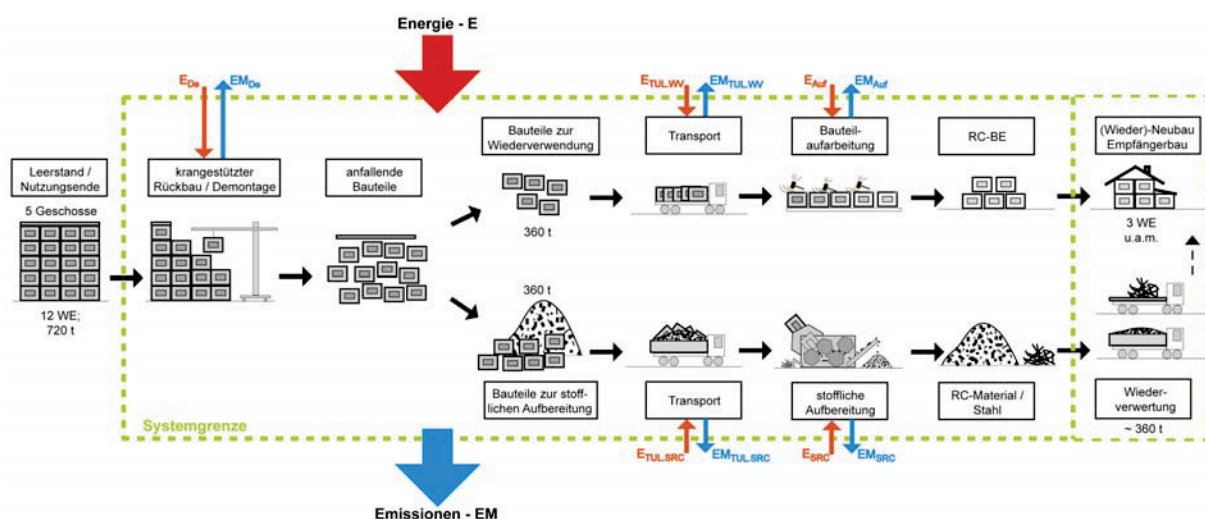


Abb. 8.1: Prozessablauf zur Ermittlung der Kosten und Systemgrenzen für das Öko-Screening Szenario 1 „Nachhaltigkeitsszenario“

- Szenario 2 „Referenzszenario 1“³⁰⁷ (vgl. Abb. 8.2) umfasst die Teilprozesse:

- Demontage des Dachgeschosses, der 5. und 4. Etage (12 WE, 345 BE); adäquat zum Szenario 1
- Vorbrechen aller rückgebauten BE auf der Demontagebaustelle; danach ~ 720 t Transport zur 30 km entfernten RC-Anlage
- Neubau von 3 EFH mit neu hergestellten 30 DP und 48 IW
- Montage der neu hergestellten BE

³⁰⁷ traditioneller Prozess

- Szenario 3 „Referenzszenario 2“³⁰⁸ (vgl. Abb. 8.2) beinhaltet folgende Teilprozesse:

Da der Abbruch von 2 Etagen ohne Beschädigung der verbleibenden 3 Etagen technisch nicht machbar ist, wird vergleichend und vereinfachend der Abbruch von 1 Eingang über 6 Etagen (= 12 WE) zugrunde gelegt. Dies erfordert, die angrenzenden BE des verbleibenden Bestandes zu demontieren.

- Demontage angrenzender BE ~ 195 t
- Abbruch von 12 WE mit Dachgeschoss ~ 525 t Betonschutt
- Anlieferung der ~ 720 t Betonschutt an eine 30 km weit entfernte RC-Anlage
- Neubau von 3 Einfamilienhäuser mit neu hergestellten 30 DP und 48 IW (wie Szenario 2)
- Montage der neu hergestellten BE

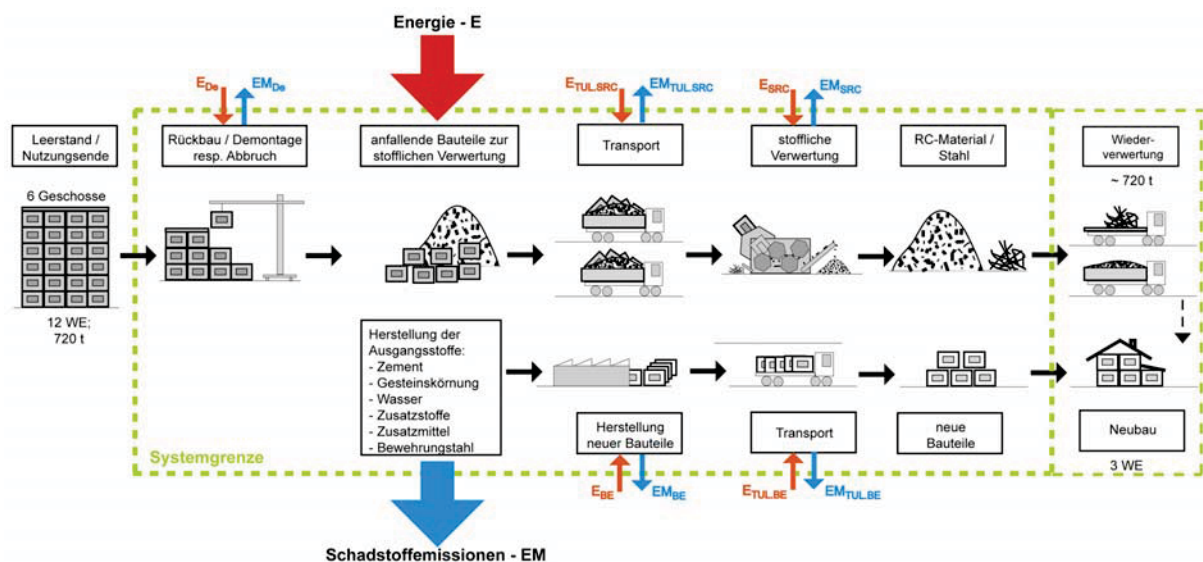


Abb. 8.2: Prozessablauf zur Ermittlung der Kosten und Systemgrenzen für das Öko-Screening Referenzszenarien 2 und 3

³⁰⁸ traditioneller Prozess

Der finanzielle Aufwand setzt sich zusammen aus.³⁰⁹

- für Szenario 1 „Nachhaltigkeitsszenario“

$$K_{\text{ges.SZ1}} = K_{\text{WV}} + K_{\text{SRC}} \quad (8.1)$$

$$K_{\text{WV}} = K_{\text{De}} + K_{\text{Bereit}} + K_{\text{Prüf}} + K_{\text{Auf}} + K_{\text{TUL}} + K_{\text{Re}} \quad (8.2)$$

$$K_{\text{SRC}} = K_{\text{Vorz}} + K_{\text{TRAPO}} + K_{\text{Anna}} \quad (8.3)$$

mit	K_{ges}	gesamter finanzieller Aufwand
	K_{WV}	Kosten zur Wiederverwendung gebrauchter Betonelemente (BE)
	K_{De}	Demontagekosten
	K_{Bereit}	Kosten für die Bereitstellung gebrauchter / wiederverwendungsgeeigneter BE auf der Demontagebaustelle
	$K_{\text{Prüf}}$	Kosten für Bauzustandsanalyse (Konformitätsprüfung / Zertifizierung)
	K_{Auf}	Kosten für die Bauteileaufbereitung
	K_{TUL}	Kosten für Transporte, Umschlag und Zwischenlagerung
	K_{Re}	Kosten für Remontage
	K_{Vorz}	Kosten für die Vorzerkleinerung
	K_{TraPo}	Kosten für Transport von Bauschutt
	K_{Anna}	Annahmegebühren der RC-Anlage

und dem Ziel

$$K_{\text{WV}} < K_{\text{Konv}}, \quad (8.4)$$

wobei aus Ressourcenschutzgründen bereits bei

$$K_{\text{WV}} = K_{\text{Konv}} \quad (8.5)$$

die Wiederverwendungsvariante zum Tragen kommen müsste.

- für Szenario 2 „Referenzszenario 1“

$$K_{\text{ges.SZ2}} = K_{\text{De}} + K_{\text{SRC}} + K_{\text{Konv}} \quad (8.6)$$

mit K_{Konv} Kosten für konventionelle Bauweisen (neue Betonfertigteile, Mauerwerk, Ortbeton u. a)

- für Szenario 3 „Referenzszenario 2“

$$K_{\text{ges.SZ3}} = K_{\text{Abb}} + K_{\text{SRC}} + K_{\text{Konv}} \quad (8.7)$$

mit K_{Abb} Kosten für den Abbruch (vereinfachender Ansatz ohne Berücksichtigung der Demontagekosten, um den angrenzenden Bestand zu schützen)

Gegenübergestellt werden die gesamten finanziellen Kosten K_{ges} der jeweiligen Szenarien.

³⁰⁹ vgl. Mettke, Angelika: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 143 ff.

8.1 Ökonomische Bewertung der gewählten Szenarien

Anhand der gewählten Szenarien werden die Kosten für die Teilprozesse zusammengestellt. Dabei wird – wie o. a. – im Wesentlichen auf die in der FG Bauliches Recycling erarbeiteten Forschungsergebnisse zurückgegriffen, ohne dass hier auf die Herleitung der Kosten umfassend eingegangen wird. Ausführlich dokumentiert ist dies im Teil 2 des Forschungsschlussberichtes „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“³¹⁰. Über dies wird auf Kap. 4.8.5 und 7.6.3 dieser Arbeit verwiesen.

Nachstehend werden ergänzend zu den bisher in dieser Arbeit ausgewiesenen Kosten, die Transportkosten in Abhängigkeit von der Transportentfernung, Neuteilpreise für Betonfertigteile und sonst üblichen Baumaterialien, Montage- und Remontagenkosten sowie Abbruchkosten aufgezeigt.

- Transportkosten

2006 und 2007 wurden 22 Angebote zu Transportpreisen für DP, IW und AW eingeholt. Die unterschiedlichen Transportentfernungen von 30 bis 300 km wurden den Transportunternehmen vorgegeben. Im Ergebnis zeigt sich, dass sich mit zunehmender Entfernung die Transportkosten bezogen auf die Menge vermindern (Abb. 7.3). Dies hängt mit dem Aufwand für das Be- und Entladen zusammen, der unvermeidlich gleich groß ist. Im Mittel wurde für 1 Tonne zu transportierendes Betonfertigteile mit LKW / Tieflader 0,20 € errechnet. Auf die Bauteilfläche hochgerechnet sind dies 7 Cent pro km ($0,07 \text{ €/m}^2 \cdot \text{km}$).

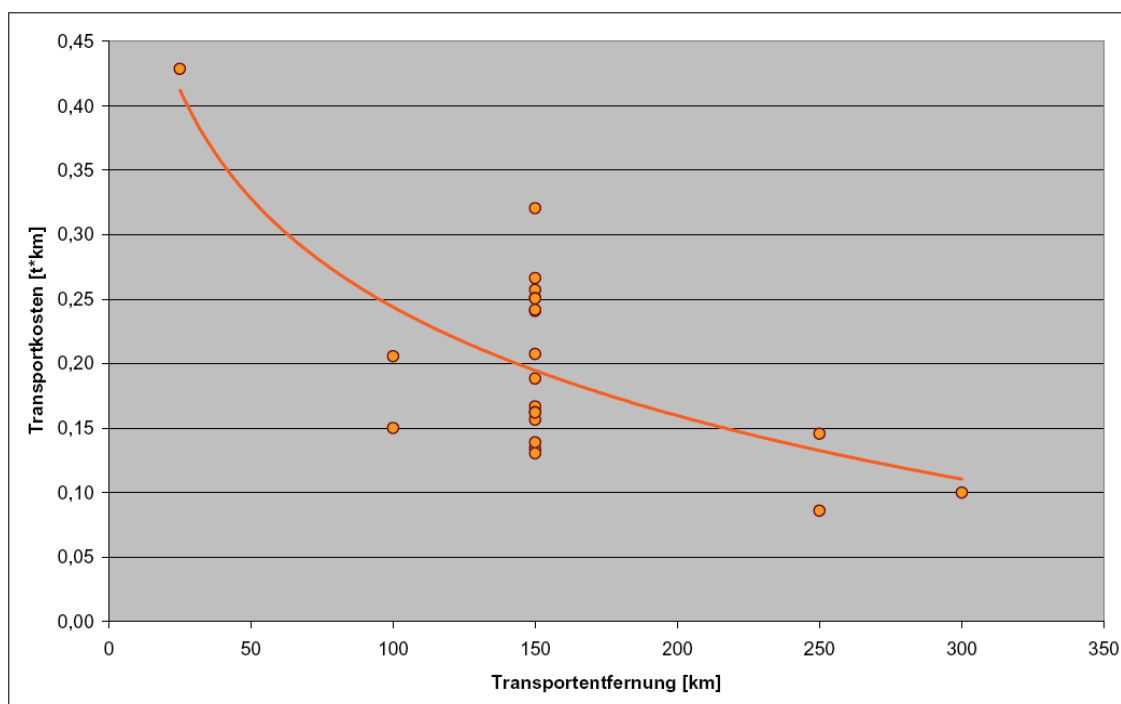


Abb. 8.3: Abhängigkeit der Transportkosten von der Transportentfernung per LKW/Tieflader (2006 / 2007)³¹¹

³¹⁰ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Thomas, Cynthia: Schlussbericht Forschungsvorhaben „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“, Teil 2 Wiederverwendung und Weiterverwendung großformatiger Betonbauteile, BTU Cottbus, FG Bauliches Recycling, 2008, S. 173 ff.

³¹¹ ebenda, S. 185

- Neuteilpreise für Betonfertigteile

2007 wurden Angebote von Herstellern zu Betonfertigteilen, mit adäquaten Abmessungen der in Plattenbauten hauptsächlich verbauten Betonelemente, eingeholt. Die Angebote von 6 Anbietern stellen sich wie folgt dar³¹²:

- DP mit Systemmaßen 6 × 3 × 0,14 m : 686,70 € bis 1.080 €; i. M. 889,34 € bzw. ~ 49,40 €/m² Deckenelement,
- IW mit Systemmaßen 6 × 2,80 × 0,15 m : 576,25 € bis 1.092 €; i. M. 846,05 € bzw. ~ 50,36 €/m² Wand,
- IW mit Tür mit Systemmaßen 6 × 2,80 × 0,15 m : 600 € bis 1.240 €; i. M. 894,58 € bzw. ~ 53,25 €/m² Wand.

Bezogen auf die Abmaße der im Modell betrachteten Betonelemente würde eine neue Innenwand mit 10,3 m² Bauteilfläche ca. 534 € kosten und eine Deckenplatte mit 9,6 m² ca. 475 €.

- Baukosten für die Herstellung von neuen Decken und Wänden

Für K_{Konv} sind die Daten aus dem BKI³¹³ zugrunde gelegt worden:

Tab. 8.2: Baukosten für Decken und Wände nach BKI

Bauweise	Kosten für		Hochrechnung Kosten für IW und DP (gewähltes Sortiment)	
	Innenwand	Decke	IW [€ / BE]	DP [€ / BE]
Montage neuer Beton- elemente	110 €/m ²	77 €/m ²	1.133	821
Massivbetonbauteil in Ortbeton mit Bewehrung	83 €/m ²	91 €/m ²	855	970
Spannbeton-TT-Decken mit Bewehrung und Über- beton	-	160 €/m ²		1.705
Kalksandsteinmauerwerk	53 €/m ²	-	546	
Ziegelmauerwerk	69 €/m ²	-	711	
Hochlochziegelmauerwerk	53 €/m ²	-	546	
Poroton-Mauerwerk / Gasbetonplansteine	62 €/m ²	-	639	

Beim Mauerwerk hinzurechnen ist das Aufbringen von Putzen, denn bei Betonfertigteilen handelt es sich um oberflächenfertige Flächen. Je nach Ausführung sind für das Verputzen von Innenwandflächen ca. 14 bis 19 €/m² hinzuzurechnen.

³¹² Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Thomas, Cynthia: Schlussbericht Forschungsvorhaben „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“, Teil 2 Wiederverwendung und Weiterverwendung großformatiger Betonbauteile, BTU Cottbus, FG Bauliches Recycling, 2008, S. 188

³¹³ BKI – Baukostenkatalog 2006, Teil 2, Stuttgart 2006

- Remontagekosten

Gemäß der Nachkalkulation zum Bau von drei Stadtvillen unter Verwendung gebrauchter Bauteile, die mit einem FZK 25 t montiert wurden, wird von UNRUH / NAGORA³¹⁴ empfohlen, für die Remontage 200 € / Element zu kalkulieren. Bezogen auf die in Tab. 8.1 zur Wiederverwendung im Modell eingesetzten Bauelemente würde dies übertragen auf 1 m² Elementfläche bspw. für die 6 m langen Deckenplatten ~ 19 € bzw. für die 3,58 m und 4,095 m langen Innenwände ~ 18 bis 20 € betragen.

ASAM³¹⁵ ermittelte an einem Pilotvorhaben für die Wandremontage ~ 17 €/m² und für die Deckenremontage ~ 22,50 €/m². Bezogen auf eine Tonne ergeben sich Remontagekosten von ca. 57 € für die Deckenplatte und ca. 72 € für die Innenwand.

- Abbruchkosten

Die Abbruchkosten belaufen sich i. M. auf 20 bis 50 €/m² Wohnfläche; teilweise liegen sie sogar unter 20 €/m² Wohnfläche.

An einem eigenen untersuchten Fallbeispiel betragen die Abbruchkosten bezogen auf die Elementfläche ~ 4 €.³¹⁶ Hierin sind – wie bei den Demontagekosten – die Entsorgungskosten enthalten. Auf die Masse bezogen liegen die Abbruchkosten für Decken bei ca. 13,50 €/t und für Wände bei ca. 15,50 €/t; im Mittel demnach bei 14,50 €/t - 15,00 €/t.

In nachstehender Tabelle 8.3 sind die einzelnen Kosten der Teilprozesse zusammengefasst (alle Kostenangaben gerundet):

Tab. 8.3: Übersicht der ermittelten Kosten zu den einzelnen Positionen³¹⁷

Einzelposition		Kosten pro m ² Bauteilfläche [€/m ²]	Kosten pro Tonne Fertigteil [€/t]
Demontage wiederverwendungsfähiger Bauteile (inkl. stoffliche Aufbereitung der Restmassen)	K _{De}	DP: 17,80 IW: 16,60	DP: 54 IW: 61
Abbruch (inkl. stoffl. Aufbereitung)	K _{Abb}	4	15
Annahmegebühren Bauschutt (vgl. Abb. 4.21)	K _{SRC}	DP: 1,70 – 2,70 IW: 1,36 – 2,18	5 - 8
Transport (30 km)	K _{TUL}	0,11 €/m ² · km	0,35 €/t · km ≈ 11 €/t
Bauteilaufarbeitung (Beseitigung fester Verunreinigungen; keine bauphysikalische Ertüchtigung)	K _{Auf}	2,20	6
Bauzustandsanalyse (s. Kap. 7.6.1)	K _{Prüf}	2	5
Remontage Wandelement	K _{Re.Wa}	19,50	72
Remontage Deckenplatte	K _{Re.DP}	21	63
Bereitstellung wiederverwendungsfähige BE	K _{Bereit}	3 - 4	DP: 9 – 12 IW: 11 - 15

³¹⁴ Unruh, Hans-Peter; Nagora, Anja: Rückbau von Plattenbauten, 2002, S. 213

³¹⁵ Asam, Claus: Untersuchung der Wiederverwendungsmöglichkeiten von demontierten Fertigteilenelementen aus Wohnungsbautypen der ehemaligen DDR für den Einsatz im Wohnungsbau, EMB, Nr. 1 – 15 / 2004, S. A – 1 ff.

³¹⁶ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Thomas, Cynthia: Schlussbericht Forschungsvorhaben „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“, Teil 2 Wiederverwendung und Weiterverwendung großformatiger Betonbauteile, BTU Cottbus, FG Bauliches Recycling, 2008, S. 177

³¹⁷ ebenda, überarbeitet und erweitert

Die Kosten für die Bereitstellung der gebrauchten Betonelemente an der Demontagebaustelle zur Wiederverwendung K_{Abgabe} ohne Berücksichtigung der Demontageskosten setzen sich zusammen aus:

$$K_{\text{Abgabe}} = K_{\text{Bereit}} + K_{\text{prüf}} \quad (8.8)$$

Für die gebrauchte Innenwand von i.M. 2,8 t Gewicht ergeben sich Kosten für $K_{\text{Abgabe, IW}}$ in Höhe von ~ 50,40 € [(13 € + 5 €) x 2,8 t].

Die Kosten $K_{\text{Abgabe, DP}}$ für die RC-Deckenplatte mit 3,536 t Gewicht betragen ~ 57 € [(11 € + 5 €) x 3,536 t].

Die Differenz, die sich zu den Neuteilpreisen für Betonfertigteile ergibt, beträgt für die Innenwände ~ 483 € [534 € - 51 €] und für die Deckenplatten ~ 418 € [475 € - 57 €].

Im Weiteren kommen für den Kunden die Kosten für die TUL-Prozesse (beladen, transportieren, entladen) und ggf. Zwischenlagerkosten hinzu.

Unter Einbeziehung der Kosten für die Demontage der Bauelemente inkl. des Transports zur 30 km entfernten Baustelle ergibt sich folgendes Bild (Abb. 8.4):

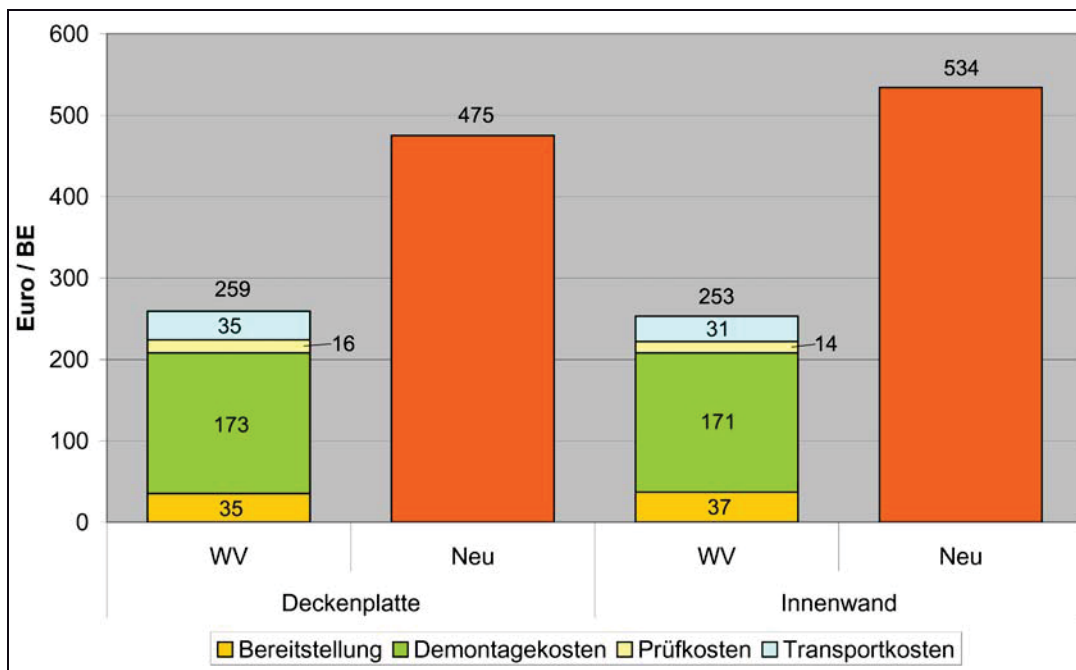


Abb. 8.4: Vergleich Neuteilpreise für Betonelemente mit bereitgestellten, gebrauchten Betonelementen

Diese Kostenbetrachtung ist für den Bauherrn interessant, der in den Rückbau und Neubau investiert. Bei der Deckenwiederverwendung stellen sich Kosteneinsparungen von 216 € (~ 45 %) ein, bei der Innenwandwiederverwendung mit 281 € (~ 53 %) kann mehr als die Hälfte pro Element gespart werden.

Damit ergeben sich für die Wiederverwendungsmaßnahmen K_{WV} von 3 Einfamilienhäusern, die 30 km entfernt von der Demontagebaustelle gebaut werden, folgende Einzelkosten (Tab. 8.4):

Tab. 8.4: Kosten für Szenario 1

Einzelposition K_{WV} (8.2) $K_{ges.SZ1}$ (8.1)	Menge [t]	Kosten [€/t]	Gesamtkosten [€]	spez. Gesamtkosten [€]
K_{De} (inkl. K_{SRC})				
DP	226	54	12.204	
IW	134	61	8.174	41.258
Rest (vgl. Kap. 4.8.5)	360	58	20.880	
K_{Bereit}				
DP	226	9 - 12	2.712	
IW	134	11 - 15	2.010	
$K_{Prüf}$	360	5	1.800	
K_{Auf}	360	6	2.160	
K_{TUL} (nur Transport BE 30 km)	360	11	3.960	28.404
K_{Re}				
48 IW	135	72	9.720	
30 DP	106	57	6.042	
$K_{ges.SZ1}$				69.662

Hinzuweisen ist, dass in K_{De} die Kosten für K_{SRC} d. h. die Entsorgungskosten (Vorzerkleinerung der BE, Transport des Bauschutts zur RC-Anlage, Annahmegebühren Bauschutt) enthalten sind. Bei der Bereitstellung der Bauelemente wurde jeweils vom höchsten Betrag ausgegangen. Nach (8.1) ergibt sich $K_{ges.SZ1}$ mit 69.662 €.

Die Kosten für das Szenario 2 setzen sich zusammen aus:

Tab. 8.5: Kosten für Szenario 2

Einzelposition $K_{ges.SZ2}$ (8.6)	Menge [t]	Kosten [€/t]	Gesamtkosten [€]	spez. Gesamtkosten [€]
K_{De}				
DP	226	54	12.204	
IW	134	61	8.174	41.258
Rest (vgl. Kap. 4.8.5)	360	58	20.880	
K_{Konv}				
Montage 30 DP	106	233	24.698	
Montage 48 IW (s. Tab. 8.2, Montage neuer Beton- elemente)	135	405	54.627	79.325
$K_{ges.SZ2}$				120.583

Nach (8.6) ergibt sich für $K_{\text{ges.SZ2}}$ eine Summe in Höhe von 235.185 €.

Die Kosten für das Szenario 3 ergeben sich aus:

Tab. 8.6: Kosten für Szenario 3

Einzelposition $K_{\text{ges.SZ3}}$ (8.7)	Menge [t]	Kosten [€/t]	Gesamtkosten [€]	spez. Gesamtkosten [€]
K_{Abb} (inkl. K_{SRC})	720	15	10.800	
K_{Konv}				
Montage 30 DP	106	233	24.698	79.325
Montage 48 IW	135	405	54.627	
$K_{\text{ges.SZ3}}$			90.125	

Nach (8.7) beträgt $K_{\text{ges.SZ3}}$ 90.125 € ohne Demontage- und Schneidarbeiten.

Zusammenfassend stellen sich die Kosten der 3 unterschiedlichen Szenarien wie folgt dar:

Szenario 1	K_{WV}	Szenario 2	$K_{\text{De}} + K_{\text{Konv}}$	Szenario 3	$K_{\text{Abb}} + K_{\text{Konv}}$	K_{konv}
69.662 €		120.583 €		90.125 €		79.325 €

Nach (8.4) ist somit $K_{\text{WV}} < K_{\text{Konv}}$; $K_{\text{WV}} < K_{\text{Abb}} + K_{\text{Konv}}$

$$\begin{array}{cccc}
 69.662 \text{ €} < 79.325 \text{ €}; 69.662 < 90.125 \text{ €} \\
 (88 \%) & (100 \%) & (77,3 \%) & (100 \%)
 \end{array}$$

Die sich ergebenden Kosteneinsparungen beim Bau von 3 Einfamilienhäusern unter Verwendung gebrauchter Betonelemente gegenüber dem Bauen mit neuen Betonfertigteilen betragen ~ 12 %.

Der Vergleich des Szenarios 1 ($K_{\text{WV}} = K_{\text{ges.SZ1}}$) zum Szenario 3 ergibt mindestens eine Einsparung von 23 %.

Werden die Kosten für die Demontage K_{De} von K_{WV} abgezogen, so ergibt sich eine Summe von 28.404 € für die Bereitstellung und Remontage der DP und IW (s. Tab. 8.4). Im Vergleich zu K_{Konv} mit 79.325 € ergeben sich Kosteneinsparungen für den Rohbau der EFH mit gebrauchten Betonelementen in Höhe von ~ 64 %.

Würden anstelle der neuen Betonfertigteile für die Wände Ziegel verbaut werden, so würde die Kalkulation folgendes Ergebnis liefern:

Tab. 8.7: Kostengegenüberstellung Wandherstellung aus Ziegelmauerwerk mit gebrauchten Innenwandelementen

herzustellende Wandfläche für 3 EFH	Kosten*			Kosten [€]**	
	Ziegel- mauerwerk	Putz	gesamt	$K_{De, IW} + K_{WV, IW}^{***}$	$K_{De} + K_{WV, IW}^{***}$
495 m ²	69 €/m ²	16 €/m ²	42.075 €	8.174 + 14.678 Σ 22.852	41.258 + 14.678 Σ 55.936
Prozentualer Vergleich [%]			100	54,3	133

* vgl. Tab. 8.2

** vgl. Tab. 8.4

*** $K_{WV, IW} = K_{Bereit, IW} + K_{Prüf, IW} + K_{Auf, IW} + K_{TUL, IW} + K_{Re, IW}$

Hier zeigt sich, dass sich je nach Ansatz der Gegenüberstellung entweder Einsparungen einstellen oder die Kosten nicht kompensiert werden. In diesem Fall würde es nicht ausreichen, wenn nur die Innenwände wieder verwendet werden. Da der Kunde als Abnehmer der gebrauchten BE in der Praxis nicht die Demontagekosten trägt, sondern die Kosten, die direkt mit der Wiederverwendung im Zusammenhang stehen – in dem Fall $K_{WV, IW} = 14.678 \text{ €}$ – betragen die Herstellungskosten nur ~ 35 % im Vergleich zum Ziegelmauerwerk.

Die hier exemplarisch zugrunde gelegten Szenarien zeigen, dass Kostenreduzierungen für den Rohbau mindestens in Höhe von 12 % erreicht werden durch Wiederverwendungen.

Bei ausschließlicher Betrachtung der Kosten, die direkt mit der Wiederverwendung im Zusammenhang stehen ($K_{Bereit} + K_{Prüf} + K_{Auf} + K_{TUL} + K_{Re}$) betragen die Kosten nur noch etwa $\frac{1}{3}$ gegenüber neuen Betonfertigteilen, die verbaut werden.

In nachstehender Abb. 8.5 sind die Kosten auf den Quadratmeter bezogen für verschiedene Baumaterialien zusammengefasst, um einen schnellen Überblick zu erhalten und Kostenschätzungen für den Rohbau von Wohnbauten vornehmen zu können.

In den Ansatz gebracht wurden:

Sortiment	Gewicht pro BE [t]	Bauteil- fläche je BE [m ²]	Kosten* [€/t]							Kosten K_{WV} [€/m ²]
			K_{De}	K_{Bereit}	$K_{Prüf}$	K_{Auf}	K_{TUL}	K_{Re}	Σ K_{WV}	
Wandplatte	Ø 2,8	Ø 10,3	61	15	5	6	11	72	170	46,20
Deckenplatte	3,536	9,6	54	12				57	145	53,40

* vgl. Tab. 8.4

Bei der Wiederverwendung der Bauteile ist eine Transportentfernung zwischen Spender- und Empfängergebäude von 30 km inbegriffen.

Die Deckenfläche umfasst für 3 Einfamilienhäuser mit je 116 m² Wohnfläche ~ 320 m² und die Wandfläche ~ 495 m².

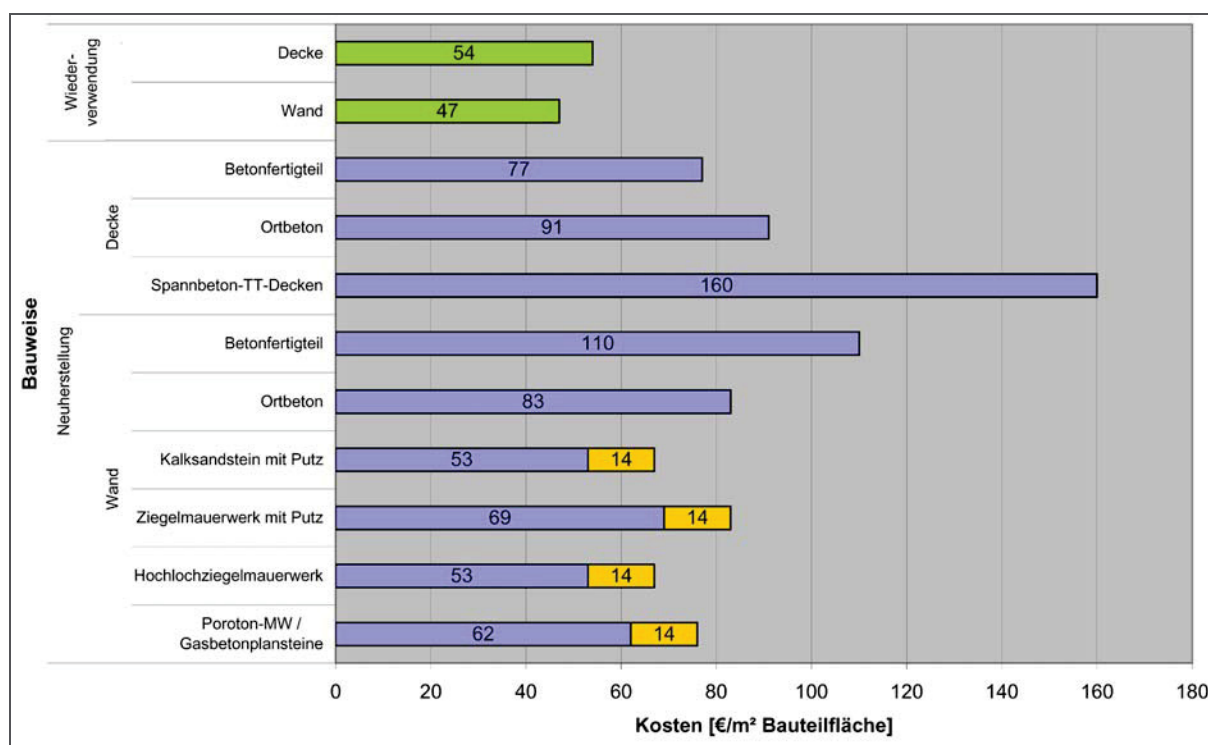


Abb. 8.5: Kostenvergleich Wiederverwendung mit neuen Baumaterialien zur Herstellung von 1 m² Bauteilfläche

Die Herstellung von einem Quadratmeter Wand aus gebrauchten Innenwänden ist um 20 € geringer (30 %) als die günstigste traditionell ausgeführte, verputzte Wandkonstruktion aus Kalksandsteinmauerwerk oder Hochlochziegelmauerwerk.

Durch die Wiederverwendung von einem Quadratmeter Decke (RC-DP) können mindestens 23 € (30 %) eingespart werden gegenüber einer vergleichbaren Decke mit neuen Betonfertigteilen oder in anderer Bauweise hergestellt.

Inwiefern die theoretische Berechnung mit der Realität übereinstimmt, wird gegenwärtig am Pilotvorhaben Vereinshausbau in Kolkwitz überprüft. Insgesamt werden 40 Decken und 39 Wände (Außen- und Innenwände) wiederverwendet. Die Remontage beginnt in der 12. KW 2009.

Der gesamtwirtschaftliche Vorteil ergibt sich aus der Gegenüberstellung der Szenarien. Trotz der minimalen WV-quote (DP und IW) von ~ 35 % bezogen auf die Anzahl der verbauten Elemente des gewählten Modells und der nicht einmal vollen Ausschöpfung des Wiederverwendungspotenzials beim Bau der 3 Einfamilienhäuser (WV-quote 27 %) erweist sich die Wiederverwendungsmaßnahme als kostengünstiger gegenüber herkömmlicher Bauausführungen mit neuen Materialien.

Im nächsten Schritt wird untersucht, ob sich auch ein relevanter ökologischer Vorteil durch die Wiederverwendung einstellt.

8.2 Ökologische Bewertung der gewählten Szenarien

8.2.1 Allgemeine Aspekte der Ökobilanzierung, Besonderheiten, Abgrenzung des Untersuchungsrahmens

Das Ziel einer nachhaltigen Wirtschaftsweise besteht darin, neben ökonomischen und sozialen Aspekten, ökologische Gesichtspunkte in die Entscheidungsfindung zu integrieren. Durch die Normenreihe DIN EN ISO 14040³¹⁸ und DIN EN ISO 14044³¹⁹ ist die Ökobilanz resp. das Life Cycle Assessment (LCA) zu einem Instrument geworden, das zur Analyse ökologischer Fragestellungen, zu deren Versachlichung eine wertvolle Hilfestellung gibt.

Die Besonderheit bei Baustoffen und –produkten bzw. Bauerzeugnissen „Gebäude“ besteht darin, dass sie im Vergleich zu anderen technischen Produkten wie Fernsehapparate, Computer, Autos etc. eine lange Lebensdauer besitzen. Die Nutzungsdauer von Stahlbetonmontagebauten beträgt voraussichtlich 80 – 120 Jahre. Trotzdem besteht der Anspruch einer dem Lebenszyklus umfassenden Betrachtungsweise. Überwiegend jedoch greifen Ökobilanzierungen als strategisches Entscheidungsmittel bei der Auswahl von Baustoffen und –materialien sowie bei der Analyse und Optimierung von Bauprodukten und –prozessen. Eher selten, bis auf Forschungs- oder Pilotprojekte, greifen in der Bauindustrie Untersuchungen „von der Wiege bis zur Bahre“.

Die Aufgabe der Ökobilanz besteht darin, die mit dem Produkt Gebäude in Verbindung stehenden Stoff- und Energieströme und deren Wirkungen auf Mensch und Umwelt zu erfassen und zu bewerten. Dabei ist der gesamte Lebenszyklus zu betrachten (vgl. Abb. 2.3).

Das Bauprodukt resp. Bauerzeugnis „Gebäude“ ist mittels einer Produktbilanz auf den verschiedenen Bilanzebenen (s. Abb. 8.6) auf seinen Umwelteinfluss hin qualifizierbar und quantifizierbar. Sie ist im Hinblick auf das Bilanzziel immer mit den natürlichen (üblichen) Einflüssen ins Verhältnis zu setzen, um die Beeinflussung bewerten zu können. Die Sachbilanzdaten bilden die Grundlage zur Wirkungsabschätzung wie z.B. Treibhauseffekt, Ressourcenabbau oder Flächeninanspruchnahme (s. Tab. 8.8).

³¹⁸ DIN EN ISO 14040: 2006-10 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen

³¹⁹ DIN EN ISO 14044: 2006-10 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen

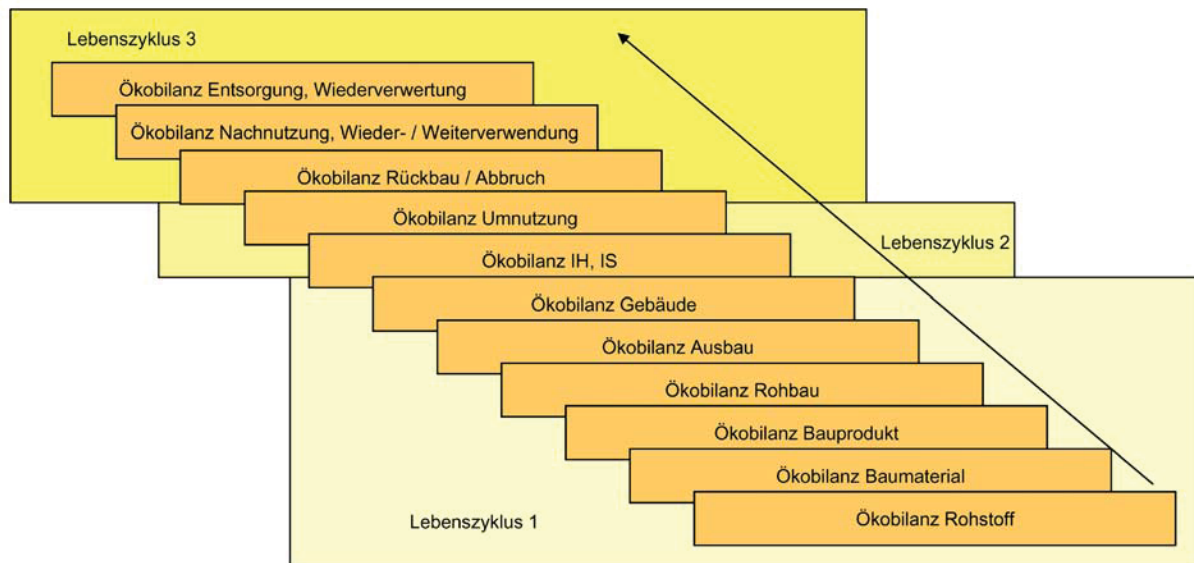


Abb. 8.6: Bilanzebenen einer Produktökobilanz von Gebäuden³²⁰

Dieses modulare Betrachtungssystem erfordert zugewiesene Bilanzgrenzen, mit denen eine Vergleichbarkeit gewährleistet wird.

Tab. 8.8: Wirkkategorien zur Abschätzung der Umwelteinwirkungen - Beispiele³²¹

Kriterien einer Sachbilanz	Wirkungsbilanz	Beschreibung, Beispiele
Bedarf an Energieträger	Ressourcenabbau	Naturinanspruchnahme, Flächeninanspruchnahme
Bedarf an Rohstoffen		
Flächeninanspruchnahme	natürlicher Lebensraum	Naturrauminanspruchnahme, Flächeninanspruchnahme
Abfallmengen, Emissionsfreisetzung	Flächeninanspruchnahme	Werksflächen
	Treibhauspotenzial	Emissionen in die Luft durch: Kohlendioxid (CO ₂): Beeinflussung des Wärmehaushalts der Atmosphäre
	Versauerungspotenzial	Stickstoffoxide (NO _x) Schwefeldioxid (SO ₂)
	Photochemische Oxidantienbildung (Sommersmog)	Stickstoffoxide (NO _x)
	Toxizität	Stäube, Faseremissionen

In Abb. 8.1 und 8.2 sind die Systemgrenzen für das nachstehend durchgeführte ökologische Screening im Lebenszyklus 3 festgelegt. Analysiert und bewertet wird die Lebensphase Rückbau bzw. Abbruch eines Bereiches von einem Plattenbau, die Wiederverwendung der zurückgewonnenen Betonelemente sowie die Entsorgung des anfallenden Bauschutts. Die Lebensphase endet, wenn die Betonfertigteile wiederverwendet, wiederverwertet oder entsorgt sind.

³²⁰ erweitert nach Mettke, Angelika; Thomas, Cynthia: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, 1999, S. 92

³²¹ ebenda; vgl. auch Graubner, Carl-Alexander; Huske, Katja: Nachhaltigkeit im Bauwesen, Grundlagen – Instrumente – Beispiele, 2003, S. 115

Die Untersuchungen beschränken sich auf die verbauten Betonelemente bzw. auf Teile der Rohbaukonstruktionen.

Die Umweltbelastungen des Rückbaus / Abbrechens werden maßgeblich durch die Entkernungstiefe beeinflusst und hängen von der gewählten Technologie des ausführenden Unternehmens ab. Beim Rückbau- sowie Abbruchprozess wurde der Energieeinsatz, Betriebsstoffe für die eingesetzten Maschinen und Geräte berücksichtigt (Kap. 8.2.3) darüber hinaus sind die Belastungen / Beeinträchtigungen aus Staub- und Lärmemissionen sowie Erschütterungen (Kap. 8.2.5) erfasst worden.

Die Nachnutzung beinhaltet die Wiederverwendung der Betonelemente und die Verwertung der rezyklierten Gesteinskörnungen, bspw. zur Herstellung von Beton.

Grundlage der Charakterisierung des ökologischen Profils in der Lebensphase Rückbau / Abbruch, Wiederverwendung / Wiederverwertung ist, die Beeinflussungen auf die Umwelt und den Menschen im System zu analysieren und zu bewerten. D. h. die bisherigen in den Kapiteln 4.10 und 9.6 ermittelten Ergebnisse sind zu verknüpfen resp. in das System zu integrieren. Im Weiteren wird von der Rückkopplung der Ergebnisse im System erwartet, Schwerpunkte der Beeinflussungen zu identifizieren, um gezielt gegensteuern zu können.

Als Indikatoren zur Bewertung des Lebenszyklus 3 sind die Material-, Energie- und Emissionsbilanz wesentlich.

Zur Untersuchung des Ressourcenbedarfs und der Emissionsbelastung, speziell der atmosphärisch relevanten Schadstoffe aus dem Energieerzeugungsprozess (CO_2 , SO_2 , NO_x), werden folgende Einzeluntersuchungen durchgeführt:

- Materialbilanzierung,
- Ermittlung des Energie- und Energieträgerverbrauchs in den einzelnen motorisch bedingten Prozessen,
- Bestimmung der atmosphärischen Belastung abgeleitet aus dem Energieverbrauch.

Betrachtet werden nur energetische Hauptprozesse ohne Aufwendungen zur Herstellung von Arbeitsmitteln bzw. Arbeitsgeräten.

8.2.2 Materialbilanz

Grundlage für die Betrachtung bilden die Szenarien 1 bis 3, veranschaulicht in Abb. 8.1 und 8.2.

Ausgangspunkt der Szenarien ist, dass ~ 720 t Betonmassen beim Rückbau von 12 WE anfallen. Etwa 360 t davon beträgt die Masse der Innenwände und Deckenplatten, die zur Wiederverwendung vorgesehen sind. Es wird somit von einer minimalen Wiederverwendungsquote ausgegangen, denn auch Außenwände, Loggiaelemente, Dachkassettenplatten, Treppenelemente und Badzellen sind wieder- oder weiterverwendungsg geeignet.

Die Spannbetondeckenplatten in den Abmaßen $5,97 \times 1,785 \times 0,14$ m sind nach Projektierungskatalog in B 300 (B 25; C 20/25) und die schlaff bewehrten $4,17 \times 1,785 \times 0,14$ m in B 225 (B 15; C 16/20) hergestellt worden. Für die Innenwände kam ein Beton der Festigkeitsklasse B 160 (B 10; C 12/15)

zum Einsatz. Die Betonrezeptur ist nicht bekannt. Deshalb wird von folgenden Standardrezepturen ausgegangen (s. Tab. 8.9).

Tab. 8.9: Materialeinsparung bei Wiederverwendung von Betonelementen dargestellt am Fallbeispiel

C 12/15	kg/m³	t pro m³ Beton	pro t Beton	verbaut in 12 WE Innenwände [t]	zur Wieder- verwendung, Fall- beispiel 16 IW / EFH; 48 IW_{ges} [t] für 3 EFH	Rest WV
Zement	210	0,21	0,09	134,2 Beton	12,08	-
Gesteinskörnung	2.032	2,30	0,85		144,07	-
Zugabewasser	158	0,16	0,07		9,39	-
Bewehrungsstahl		0,02 t	0,008		1,07	-
C 16/20				verbaut in 12 WE Decken schlaff bewehrt [t]	zur Wieder- oder Weiterverwendung; evtl. Zwischenlagerung	
Zement	260	0,26	0,11	56,2 Beton		6,18
Gesteinskörnung	1.976	1,97	0,82			46,08
Zugabewasser	164	0,17	0,07			3,93
Bewehrungsstahl		0,02 t	0,008			0,45
C 20/25				verbaute Spannbetondecken [t]	zur Wieder- verwendung Fall- beispiel 10 DP / EFH; 30 DP_{ges}	
Zement	330	0,33	0,14	169,8 Beton (30 DP: 106,08)	14,85	8,92
Gesteinskörnung	1.820	1,82	0,76		80,62	48,43
Zugabewasser	190	0,19	0,08		8,49	5,10
Bewehrungsstahl		0,02 t	0,008		0,85	0,51

Für die im Modell betrachteten 3 EFH werden 30 Spannbetondecken und 48 Innenwände benötigt. Dies bewirkt eine Einsparung von ~ 27 t Zement, ~ 195 t Gesteinskörnung, ~ 18 t Zugabewasser und ~ 2 t Bewehrungsstahl. Darüber hinaus stehen 18 Spannbetondecken und 24 schlaff bewehrte Decken zur Nachnutzung zur Verfügung. Daraus ergeben sich weitere Einsparungen für Zement von ~ 15 t, Gesteinskörnung ~ 95 t, Zugabewasser ~ 9 t und Bewehrungsstahl ~ 1 t.

In Summe stellt sich die Materialeinsparung durch die Wieder- und / oder Weiterverwendung von Deckenplatten und Innenwänden beim Rückbau eines P2-Typs von 12 WE über 2 Etagen wie folgt dar:

- ~ 42 t Zement
- ~ 290 t Gesteinskörnung
- ~ 27 t Zugabewasser
- ~ 3 t Bewehrungsstahl

- Materialintensität

Angeichts der Ungleichgewichte zwischen Input (mengenmäßiger Aufwand der Eingangsmaterialien) und dem Output für ein Produkt (mengenmäßiger Ertrag / Endprodukt) wurde anhand des Indikators MIPS (Materialinput pro Serviceeinheit)³²² ermittelt, dass für 1 t Betonfertigteile der ökologische Rucksack das 6-fache beträgt.³²³ D. h. für 1 t Betonprodukt müssen 6 t Ressourcen bereitgestellt werden.

Beispielhaft wird die Materialintensität am C 20/25 für eine Spannbetondecke aufgezeigt.

Tab. 8.10: Materialintensität für eine Spannbetondecke aus den P2-Typ

Baustoffe	Materialintensität [t/t]				MIT-Wertetabelle, Wuppertal-Institut		
	abiotisches Material	Wasser	Luft	Σ aus Spalten 1 - 3	Material-anteil [M-%]	Material-menge bezogen auf 1 DP [t]	gesamter Ressourcen-verbrauch 1 DP [t]
	1	2	3	4	5	6	7
Beton B 25	1,33	3,4	0,044	4,774	99,18	3,507	16,74
Stahl	8,14	63,7	0,444	72,284	0,82	0,029	2,10
Σ						3,536	18,84

Hochgerechnet auf das Fallbeispiel ergeben sich für die wiederverwendungsgerechten Deckenplatten und Innenwände mit 360,2 t etwa 2.160 t Naturressourcen, die durch Wiederverwendung geschont werden könnten.

In dem Zuge wie natürliche Ressourcen eingespart werden können vermindern sich auch die Flächeninanspruchnahme und der Energieverbrauch und die damit in Verbindung stehenden Stoffströme sowie Emissionen.

8.2.3 Energetische Betrachtung

- Primärenergie der RC-Betonelemente

Der Primärenergiegehalt (PEI) beschreibt den zur Herstellung eines Produktes notwendigen Energieverbrauch in Megajoule (MJ)³²⁴. D. h. er weist die graue Energie bzw. den kumulierten Energieaufwand eines Baustoffes aus (vom Rohstoffabbau beginnend bis zur Bereitstellung des Produkts). Der kumulierte Energieaufwand (KEA) ist in der VDI-Richtlinie 4600³²⁵ definiert.

Für die Herstellung der Betonfertigteile wird der KEA nach Untersuchungsergebnissen der FfE³²⁶ vereinfachend für alle Elemente mit 3.080 MJ/t angesetzt. Zugrunde gelegt werden Betonfertigteile in C 20/25 mit Portlandzement.

³²² Schmidt-Bleek, Friedrich: Das MIPS-Konzept „MIPS ist ein Maß dafür, wie viel Nutzen aus einer bestimmten Menge Ressource gezogen wird.“ Der „ökologische Rucksack“ bspw. von Braunkohle ist zehnmal so schwer wie die Kohle selbst.

³²³ Mettke, Angelika: Qualitätsmerkmale gebrauchter Betonelemente – Potenziale und Facetten der Nachnutzung, in: Tagungsband Alte Platte – Neues Design, Teil 2, Hrsg. Angelika Mettke, BTU Cottbus, 2008, S. 199

³²⁴ 100 MJ entsprechen einem Heizwert von etwa 2,8 Liter Heizöl. [www4.architektur.tu-darmstadt.de/powerhouse ...](http://www4.architektur.tu-darmstadt.de/powerhouse...) aufgerufen am 18.03.2009

³²⁵ VDI 4600: 1997-06 Kumulierter Energieaufwand – Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden

³²⁶ GaBiE, Forschungsstelle für Energiewirtschaft: Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen, Teil 2 Baustoffe, 1999, S. 60

Für die in den 3 EFH verbauten gebrauchten 48 Innenwände mit einer Elementemasse von 134,2 t und der 30 Deckenplatten von 106 t ergeben sich demnach 739.816 MJ Energie (vgl. Tab. 8.11).

Tab. 8.11: Energetischer Inhalt der RC-Betonelemente

Sortiment	verbaut in 12 WE [t]	WV in 3 EFH [t]	Rest zur WV [t]	KEA _H [MJ/t]	KEA _{ges.} [MJ]
IW	134,2	134,2	-	3.080	413.336
DP	226	106	120		696.080
gesamt	360,2	240,2	120		1.109.416

Insgesamt sind in den anfallenden Innenwänden und Decken ca. 1.109 GJ bzw. ca. 1,11 TJ Energie enthalten. Müssten die Betonfertigteile neu hergestellt werden, wäre diese Energiemenge für die Produktion bereitzustellen.

Für die Erzeugung von 1.109 GJ thermischer Energie müssten bei Heizwerten von 8,40 GJ/t Braunkohle ~ 9.327 t Braunkohle eingesetzt werden oder ca. 31.064 Liter Heizöl.

Werden lediglich oder immerhin die Betonelemente für die 3 EFH betrachtet, so würden ~ 6.223 t Braunkohle oder bspw. ca. 20.715 Liter Heizöl erforderlich werden.

- Demontage / Abbruch der verbauten Betonelemente

Der Energieaufwand für die Demontage- und Abbrucharbeiten ist im Kap. 4.10.2 ff. analysiert worden. Diese Ergebnisse werden herangezogen. Daraus ergibt sich der erforderliche Energieaufwand für die betrachteten Szenarien wie folgt:

Tab. 8.12: Energetischer Aufwand für die Demontage und den Abbruch von 12 WE

Rückbau / Abbruch	Energieaufwand [MJ]	
	pro Tonne*	für 12 WE (720 t)
Demontage mit FZK; E _{DE,FZK}	157	113.040
Demontage mit TDK; E _{DE,TDK}	73	52.560
Abbruch; E _{Abb}	106	76.320

* vgl. Abb. 4.22

- Stoffliche Aufbereitung - Materialrecycling

In Abhängigkeit des maschinentechnischen Einsatzes schwankt der energetische Aufwand zur Aufbereitung. Als allgemeiner Ansatz zur Ermittlung des Energiebedarfs sind die in Tab. 8.13 recherchierten Durchschnittswerte berücksichtigt worden.

Tab. 8.13: Durchschnittlicher Energiebedarf für Teile einer Aufbereitungsanlage für mineralische Bauabfälle³²⁷

Anlagenteil	Energieträger	Energiebedarf [MJ/t]
Zerkleinerung (Brecher)	Strom	2,9
Staubabscheidung	Strom	2,2
Klassierung (Siebe)	Strom	0,4
Förderbänder	Strom	0,2 – 0,4
Beschickung (Radlader)	Diesel	4,3 – 10,5
Störstoffauslese (Bagger)	Diesel	36,8*
Anlagendurchschnitt		50

* entspricht einem Baggereinsatz 30 t, 130 kW über ca. 2 Minuten bei 100 % Auslastung.

Hinweis: Bei Sichtung des Materials mittels Luft (Windsichtung) oder Wasser erhöht sich der Energiebedarf (vgl. Tab. 9.6).

Der rechnerische Ansatz ergibt sich wie folgt:

$$E_{\text{SRC}} = m \cdot E_{\text{Auf}} \quad (8.9)$$

E_{SRC} Gesamtenergiebedarf für das Stoffrecycling [MJ]

m Masse [t]

E_{Auf} Energiebedarf für die Aufbereitung [MJ/t].

Im Szenario 1 werden 360 t Bauschutt, im Szenario 2 und 3 jeweils 720 t vorzerkleinerte Betonelemente der RC-Anlage zugeführt.

Demzufolge beträgt E_{SRC} für Szenario 1 18.000 MJ und für die Szenarien 2 bzw. 3 336.000 MJ.

- Transportaufwendungen

Auf der Basis der Energie- und Emissionsdaten nach PROBAS (vgl. Kap. 7.6) wird für den LKW-Transport (Diesel) ein Energieaufwand von 1,36 MJ/t · km angesetzt.

Bei einer Transportstrecke von 30 km ergibt sich ein Energieaufwand von ~ 40 MJ/t.

Der Energieaufwand für die Szenarien 1 bis 3 stellt sich demnach folgendermaßen dar:

³²⁷ aktualisiert nach Thomas Cynthia; Birle, Andreas: Stoff- und Energieflüsse bei der Aufbereitung mineralischer Baureststoffe, Studienarbeit, LS Baustoff- und Neuwerttechnik, BTU Cottbus, 1995

Tab. 8.14: Energiebedarf für den LKW-Transport: von/vom Demontagebaustelle – Spendergebäude bzw. Abbruchstelle zur/zum RC-Anlage / Baustelle / Empfängergebäude / Zwischenlager

Szenario	Beschreibung	Transporte für stoffliches Recycling			
		M [t]	s [km]	KEA [MJ/t*km]	Energieaufwand E_{TUL}^* [MJ]
1	zur RC-Anlage	360	30	1,36	14.688
	zur Baustelle	240			9.792
	zum Zwischenlager / zur Bauteilbörse	120			4.896
2 bzw. 3	zur RC-Anlage	720 t			29.376

* nur Transport

- (Re-)Montage

Die Messungen der Zeiten für die (Re-)Montage von Wandelementen beim Bau eines Vereinshauses, das momentan realisiert wird, ergaben durchschnittlich ca. 10 – 13 Minuten pro Wandelement. Inbegriffen ist neben dem An- und Abschlagen die Lagesicherung des Elementes mittels Montagestreben und die Justierung der Wandelemente. Als Anschlagpunkte wurden die ursprünglichen Tragösen verwendet. Für die (Re-)Montage ist etwa zu 92 % der Maßnahme ein 50 t FZK zum Einsatz gekommen. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse musste wegen der erforderlichen Ausladung von 3 Betonelementen ein 70 t FZK eingesetzt werden.

Wegen der noch zu geringen Datensätze für die (Re-)Montage wird vereinfachend die Leistung der Demontage mit FZK angesetzt (vgl. Kap. 4.10.2). Die durchschnittliche Demontagezeit für Wände wurde mit 11 Minuten ermittelt. Der zeitliche Aufwand stimmt also in etwa mit den gemessenen Remontagezeiten überein.

Für 1 Tonne zu versetzendes Betonteil wird ein Energieaufwand von 157 MJ angenommen.

- Zusammenfassung der Energieaufwendungen und Gegenüberstellung der Szenarien

In Tab. 8.15 sind alle ermittelten Energieaufwände des betrachteten Lebenszyklus zusammengestellt – bezogen auf eine Tonne Betonelement.

Tab. 8.15: Zusammenstellung der ermittelten Energieaufwände je Tonne Bauteil³²⁸

Energieaufwand		[MJ/t]
E_{BE}	Neubauteilherstellung*	3.080
$E_{De.FZK}$	Demontage mit Fahrzeugkran	157
$E_{De.TDK}$	Demontage mit Turmdrehkran	73
E_{Abb}	Abbruch	106
E_{SRC}	Stoffliche Aufbereitung	50
$E_{T.SRC}$	Transport zur RC-Anlage (30 km)	40
$E_{T.BE}$	Transport der Neubauteile (30 km)	40
E_{Re}	Remontage mit Fahrzeugkran	157

*unter Verwendung von RC-Material zur Betonherstellung würde sich nach Abb. 9.19 der Energieaufwand um ~ 28 bis 402 MJ/t erhöhen.

Evident ist der hohe Energiebedarf für die Bauteilneuproduktion. Insofern ist es unabdingbar, eine möglichst hohe Wiederverwendungsquote zu erzielen.

Der Energieaufwand für das Szenario 1 setzt sich wie folgt zusammen:

Tab. 8.16: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 1

Teilprozesse	Energieaufwand	Szenario 1	
	pro Tonne BE [MJ/t]	Bauelementemasse [t]	Energieaufwand [GJ]
Demontage 12 WE			
entweder mit Fahrzeugkran (FZK)	157	720	113,04
oder mit Turmdrehkran (TDK)	73	720	52,56
Transport RC-BE für 3 WE / 3 EFH	40	240	9,60
Transport Bauschutt zur RC-Anlage	40	360	14,40
Stoffliche Aufbereitung	50	360	18,00
Transport RC-BE (Rest DP) zum Zwischenlager / Bauteilbörse	40	120	4,80
Remontage RC-BE 3 WE / EFH mit FZK	157	240	37,68
Gesamt mit FZK	484		197,48
Gesamt mit TDK bei Demontage	400		137,08

Das Szenario 2 unterscheidet sich zum Szenario 1 dahingehend, dass alle demontierten Betonelemente stofflich aufbereitet werden und 3 WE bzw. 3 EFH aus baugleichen neuen Betonelementen errichtet werden (s. Tab. 8.17).

³²⁸ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Ivanov, Evgeny: Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa, Endbericht Bearbeitungsphase I zum Forschungsvorhaben „Wissenschaftliche Vorbereitung und Planung des Rückbaus von Plattenbauten und der Wiederverwendung geeigneter Plattenbauteile in Tschechien“, FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, vom 30.05.2008, S. 271

Tab. 8.17: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 2

Teilprozesse	Energieaufwand	Szenario 2	
	pro Tonne BE [MJ/t]	Bauteilmasse [t]	Energieaufwand [GJ]
Demontage 12 WE			
entweder mit Fahrzeugkran (FZK)	157	720	113,04
oder mit Turmdrehkran (TDK)	73	720	52,56
Transport Bauschutt zur RC-Anlage	40	720	28,80
Stoffliche Aufbereitung	50	720	36,00
Energiegehalt der Alt-/RC-BE- resp. Neubau- teile für 3 EFH	3.080	240	739,20
Transport der Neubauteile 3 EFH	40	240	9,60
Montage mit FZK 3 EFH	157	240	37,68
Gesamt mit FZK	3.524		964,32
Gesamt mit TDK bei Demontage	3.440		903,84

Szenario 3 folgt insgesamt der Grundstruktur des Szenarios 2 außer, dass anstelle der Demontage der Abbruch greift. Diese Variante entfällt für die Variante des geschossweisen Rückbaus. Diese Maßnahme greift nur bei segmentweiser Beseitigung der Bausubstanz, wobei unter praktischen Bedingungen die direkt angrenzenden Bauteile am verbleibenden Bestand aus Sicherheitsgründen demontiert werden müssen. Das wären etwa 60 t aus der Wanddemontage und ~ 135 t aus der Deckenkonstruktion. Vorbereitend sind am Deckenaufleger Schneidarbeiten notwendig. In diesem Szenario über 7 Etagen über die Gebäudetiefe von ca. 11 m müssten 77 lfd. Meter bzw. ~ 11 m² Schneidarbeiten ausgeführt werden. Hinzu käme der Aufwand für die Abstützung der Deckenplatten. Dieser Aufwand ist in nachfolgender Zusammenfassung nicht enthalten.

Tab. 8.18: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 3

Teilprozesse	Energieaufwand	Szenario 3	
	pro Tonne Bauteil [MJ/t]	Bauteilmasse [t]	Energieaufwand [GJ]
Demontage angrenzende BE (FZK)	157	195	30,62
Schneidarbeiten *)insges.			1,37
Abbruch	106	525	55,65
Transport Bauschutt zur RC-Anlage	40	720	28,80
Stoffliche Aufbereitung	50	720	36,00
Energiegehalt der Alt-/RC-BE- resp. Neubauteile für 3 WE bzw. 3 EFH	3.080	240	739,20
Transport der Neubauteile für 3 EFH	40	240	9,60
Montage mit FZK 3 EFH	157	240	37,68
Gesamt			938,92

*) Leistung Wandsäge 15 kW; Nutzleistung 0,4 bis 0,8 m²/h angesetzt [Angaben aus: Lippok, Jürgen; Korth, Dietrich: Abbrucharbeiten, 2007, S. 272]; daraus folgt eine Einsatzzeit von 21 h und ein realer Energiebedarf von 315 kWh.

Aus der Gegenüberstellung der Energieaufwände für die einzelnen Szenarien (Tab. 8.19) wird deutlich, dass Szenario 1 mit Abstand die energetisch günstigste Variante darstellt. Dabei wurde von vornherein vom Minimum der möglichen Wiederverwendungsquote ausgegangen.

Tab. 8.19: Gegenüberstellung der ermittelten energetischen Aufwände der untersuchten Szenarien

Szenario		Energieaufwand [GJ]	
		Demontage mit FZK	Demontage mit TDK
1	Demontage / Wiederverwendung ~ 33 M.-% (3 EFH) / stoffliche Aufbereitung	198	137
2	Demontage / stoffliche Aufbereitung / Neubau 3 EFH	965	903
3	Abbruch (mit technologisch bedingter Demontage) / stoffliche Aufbereitung / Neubau 3 EFH	939	

Die Szenarien 2 und 3 weisen gegenüber dem Szenario 1 einen evidenten, etwa 5-fach höheren Energieaufwand auf. Zwischen den Szenarien 2 und 3 gibt es praktisch keinen Unterschied im Energieverbrauch. Im Vergleich zum Szenario 1 sind die Szenarien 2 und 3 aus energetischer Sicht indiskutabel.

8.2.4 Emissionsbetrachtung

In Fortführung der ermittelten Emissionen zur Demontage (Kap. 4.10.4) werden nachstehend die für die Bewertung der Szenarien noch fehlenden Datensätze aufgeführt.

Die Emissionsdaten für die Strom- und Dieselpreparierung sind in Tab. 4.14 angegeben.

- Herstellung von Betonbauteilen

Für die Herstellung einer Tonne Betonfertigteile aus Normalbeton mit Portlandzement unter Dampfherstellung werden von der Forschungsstelle für Energiewirtschaft folgende klimarelevanten Emissionen festgesetzt:

Tab. 8.20: Energetisch bedingte Emissionen zur Neuherstellung 1 Tonne Fertigteilbeton³²⁹

Fertigteilbeton	SO ₂	NO _x	CO ₂
Emissionen [kg/t]	0,806	0,604	394

Durch die Wiederverwendung von einer Tonne Betonelement wird der Ausstoß von ~ 800 g Schwefeldioxid, ~ 600 g Stickoxide und 394 kg Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre verhindert.

Folglich werden nach Szenario 1 durch die Wiederverwendung von 240 t Betonelemente für den Bau von 3 EFH Emissionen in Höhe von ca. 193 kg SO₂, 145 kg NO_x und 94,6 t CO₂ eingespart.

- stoffliche Aufbereitung

Nach Tab. 8.13 setzt sich der Energiebedarf zur Aufbereitung einer RC-Anlage aus 5,8 MJ/t Strom und 44,2 MJ/t Diesel zusammen. Daraus ergeben sich folgende Emissionen:

Tab. 8.21: Energetisch bedingte Emissionen für die stoffliche Aufbereitung je Tonne Bauteil

Gesamtbedarf [TJ]	spezifische Emissionen [kg/TJ _{Input}] – Brennstoff [kg/TJ _{End}] – elektr. Energie			Emissionen [kg/t]		
	SO ₂	NO _x	CO ₂	SO ₂	NO _x	CO ₂
Stoffliche Verwertung						
Diesel: 0,000044	77,386	-	74 396	0,0034	-	3,27
Strom: 0,000006	107,037	175,766	178 885	0,0006	0,0011	1,07
Summe				0,0040	0,0011	4,54

³²⁹ GaBiE, FfE - Forschungsstelle für Energiewirtschaft: Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen, Teil 2 Baustoffe, 1999, S. 60

- Transport

Der Energieträger für die Transporte mit LKW ist Diesel. Die energetisch bedingten Emissionen für den Transport von einer Tonne Betonfertigteile in 30 km Entfernung ergeben:

Tab. 8.22: Energetisch bedingte Emissionen aus Transportleistungen

Transport von:	Masse [t]	Entfernung [km]	Gesamtbedarf [TJ]	Emissionen [kg]		
				SO ₂	NO _x	CO ₂
1 t Betonbauteil	1	1	0,0000014	0,0001	-	0,104
Szenario 1	1	30	0,000042	0,0030	-	3,12

- Zusammenfassung der energetisch bedingten Emissionen für die Teilprozesse im betrachteten Lebenszyklus

Die energetisch bedingten errechneten Emissionen sind in nachstehender Tab. 8.23 bezogen auf eine Tonne Betonfertigteile zusammengefasst.

Tab. 8.23: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für 1 t Bauteil

Emissionen		[kg/t]		
Abkürzung	Teilprozesse	SO ₂	NO _x	CO ₂
EM _{De}	Demontage			
EM _{De.FZK}	mit Fahrzeugkran (FZK)	0,012	-	11,7
EM _{De.TDK}	mit Turmdrehkran (TDK)	0,007	0,012	12,8
EM _{Trapo}	Transport 1 km LKW	0,001	-	0,104
EM _{Abb}	Abbruch	0,008	-	7,9
EM _{SRC}	Stoffliche Aufbereitung	0,004	0,0011	4,54
EM _{BE}	Neuproduktion der Bauteile	0,806	0,604	394
EM _{Re}	Remontage (FZK)	0,012	-	11,7

Für die einzelnen Szenarien 1 bis 3 ergeben sich für das exemplarisch zugrunde gelegte Fallbeispiel folgende Emissionen:

Tab. 8.24: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 1

Szenario 1	Bauteil- masse [t]	Emissionen [kg]		
Teilprozesse		SO₂	NO_x	CO₂
Demontage 12 WE				
entweder mit Fahrzeugkran (FZK)	720	8,64	-	8.424
oder mit Turmdrehkran (TDK)	720	5,04	8,64	9.216
Transport RC-BE für Bau 3 EFH (30 km)	240	0,24	-	24,96
Transport Bauschutt zur RC-Anlage (30 km)	360	0,36	-	37,44
Stoffliche Aufbereitung	360	1,44	0,396	1.634,40
Transport RC-BE (Rest DP) zum Zwischenlager / Bauteilbörse	120	0,12	-	12,48
Remontage RC-BE 3 EFH (FZK)	240	2,88	-	2.808
Gesamtemission mit FZK		13,68	0,396	12.941,28
Gesamtemission mit TDK		10,08	9,036	13.733,28

Im Szenario 2 werden die Emissionen der Demontage wie in Szenario 1 betrachtet, wobei die demon- tierten Bauteile komplett stofflich aufbereitet und die Betonfertigteile für den Neubau neu produziert werden.

Tab. 8.25: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 2

Szenario 2	Bauteil- masse [t]	Emissionen [kg]		
Teilprozesse		SO₂	NO_x	CO₂
Demontage 12 WE				
entweder mit Fahrzeugkran (FZK)	720	8,64	-	8.424
oder mit Turmdrehkran (TDK)	720	5,04	8,64	9.216
Transport Bauschutt zur RC-Anlage (30 km)	720	0,72	-	74,88
Stoffliche Aufbereitung	720	2,88	0,792	3.268,80
Neuproduktion BE für 3 EFH	240	193,44	144,96	94.560
Transport BE für 3 EFH (30 km)	240	0,24	-	24,96
Montage BE mit FZK 3 EFH	240	2,88	-	2.808
gesamt bei Demontage mit FZK		208,80	145,752	109.160,64
gesamt bei Demontage mit TDK		205,20	154,392	109.952,64

Die energetisch bedingten Emissionen für Szenario 3 sind in Tab. 8.26 aufgezeigt.

Tab. 8.26: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 3

Szenario 3	Bauteil- masse [t]	Emissionen [kg]		
Teilprozesse		SO₂	NO_x	CO₂
Demontage angrenzender BE zum Bestand (FZK)	195	2,34	-	2.281,50
Abbruch 12 WE	525	4,20	-	4.147,50
Transport Bauschutt zur RC-Anlage (30 km)	720	0,72	-	74,88
Stoffliche Aufbereitung	720	2,88	0,792	3.268,80
Neuproduktion BE für 3 EFH	240	193,44	144,96	94.560
Transport BE für 3 EFH (30 km)	240	0,24	-	24,96
Montage BE mit FZK 3 EFH	240	2,88	-	2.808
gesamt		206,70	145,752	107.165,64

In Tab. 8.27 sind die ermittelten Emissionen der einzelnen Szenarien zusammen- bzw. gegenübergestellt.

Tab. 8.27: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für alle Szenarien

Szenario		Emissionen [kg]		
		SO₂	NO_x	CO₂
1	Demontage / Wiederverwendung ~ 33 m.-% (3 EFH) / stoffliche Aufbereitung			
	EM _{De.FZK}	13,70	0,40	12.941
	EM _{De.TDK}	10,10	9,04	13.733
2	Demontage / stoffliche Aufbereitung / Neubau 3 EFH			
	EM _{De.FZK}	208,80	145,75	109.160
	EM _{De.TDK}	205,20	154,39	109.952
3	Abbruch (mit technologisch bedingter Demontage) / stoffliche Aufbereitung / Neubau	206,70	145,75	107.165

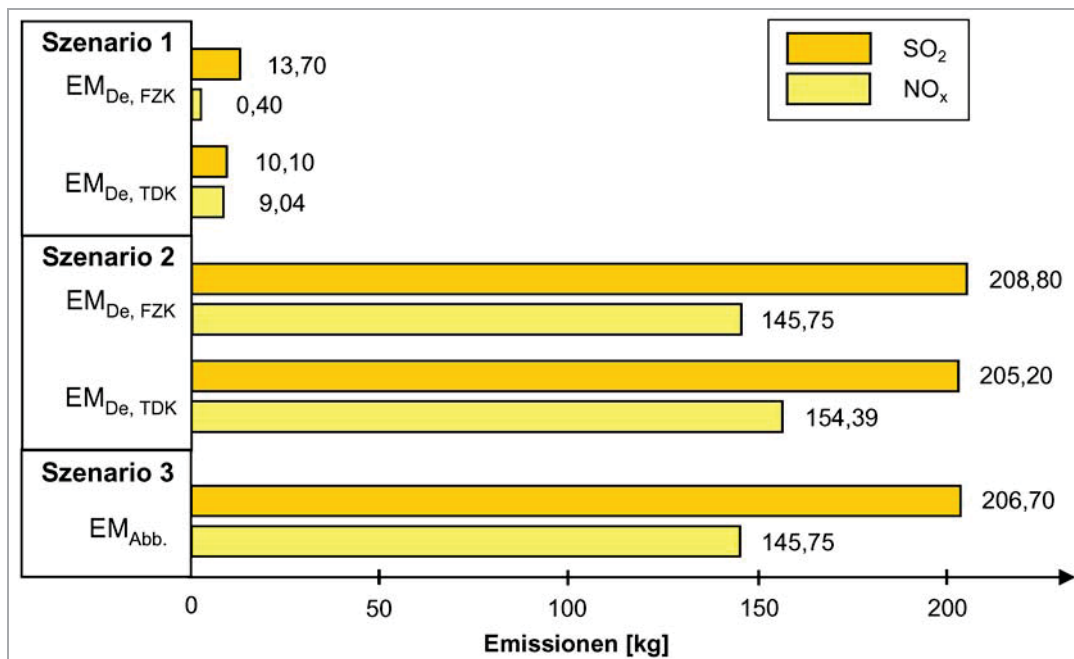


Abb. 8.7: Vergleich der ermittelten energetisch bedingten SO₂- und NO_x-Emissionen der einzelnen Szenarien

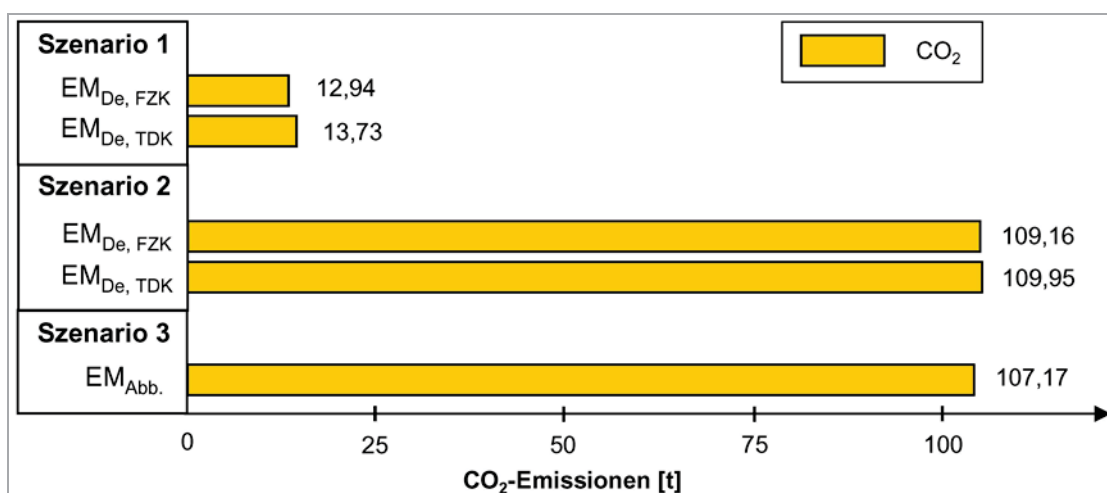


Abb. 8.8: Vergleich der ermittelten energetisch bedingten CO₂-Emissionen der einzelnen Szenarien

Durch die Wiederverwendung der demontierten Innenwände und einem Teil der demontierten Decken von den 12 rückgebauten Wohneinheiten für z.B. den Bau von 3 Einfamilienhäusern verringern sich die Emissionen in ganz erheblichen Maße gegenüber üblichen Verfahrensweisen (Szenarien 2 und 3). Szenarien 2 und 3 beinhalten wegen der Vergleichbarkeit die Produktion neuer Betonfertigteile. Da der Energieaufwand zur Herstellung von Betonfertigteilen sehr hoch ist und die Höhe des Energieaufwandes mit der Emissionsrate korreliert, ergeben sich im Ergebnis erwartungsgemäß hohe klimarelevante Emissionen. Die Emissionsrate für CO₂ der Szenarien 2 und 3 wird zu ~ 87 % durch die Neuproduktion der Betonfertigteile bestimmt. Für das Versauerungspotenzial ist die Neuproduktion sogar zu ~ 93 % verantwortlich.

Die überschlägliche Ermittlung der Neuproduktion, die Wände als Ziegelmauerwerk zu erstellen, ergibt bei einer 36,5 cm starken Wandausbildung $\sim 2.220 \text{ MJ/t}$ ($\text{PEI } 1.487 \text{ MJ/m}^3$)³³⁰ mit einem Treibhauspotenzial von 133 kg/m^3 . Hinzuzurechnen ist der Mörtel. Insofern kommt es zu keinen entscheidenden geringeren Emissionsraten.

In weiterführenden Öko-Bilanzen sind die verschiedenartigen MW-Ausbildungen für die Herstellung der Wände und außerdem alternative Deckenkonstruktionen (vgl. Abb. 8.5) zu berücksichtigen.

8.2.5 Untersuchungen zu Lärm-, Staubbelastungen und Erschütterungen bei Abbruch- und Rückbauarbeiten

Im Rahmen der Forschungsarbeiten „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“³³¹ wurden im Zuge mehrerer rückzubauender oder zu beseitigenden (abzubrechenden) Plattenbauten Messungen zum Lärm, Staub und zu Erschütterungen durchgeführt. Im Fokus stand nicht nur die Ermittlung der Belastungseinwirkung auf die Arbeitskraft, sondern erfasst wurden die Umweltbelastungen resp. die Belastungen der Bewohner in angrenzenden Bauten und des Publikumsverkehrs.

Die Untersuchungsergebnisse sind detailliert im Forschungsbericht dokumentiert.³³² Nachstehend werden die ermittelten Ergebnisse in komprimierter Form dargestellt.

- Lärmbelastung in der Nachbarschaft der Demontage-, Abbruchbaustelle

An acht Standorten wurden Lärmmessungen durchgeführt. Da die Schallintensität in Abhängigkeit von den Geräuschquellen unterschiedlich ausfällt, wurden die Lärmmesswerte über die Zeit gemittelt. Die ermittelten Messdaten wurden als äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} angegeben.

Die Messungen wurden stichprobenartig zu unterschiedlichen Tageszeiten, Witterungsbedingungen und Windgeschwindigkeiten durchgeführt. Die Messzeiten variierten immer zwischen 1 bis 1,5 Stunden. Die jeweiligen Messstellen wurden vor Ort operativ festgelegt und befanden sich in einer Entfernung zur Emissionsquelle von ca. 30 – 35 m und 50 m.

Bewertet wurden die Lärmbelastungen beim krangeführten Rückbau, bei der Kombination von Abbruch und Rückbau und beim Abbruch.

Festgestellt wurde, dass selbst beim krangeführten Rückbau der Bagger als Geräuschquelle dominant ist. Stemmarbeiten zum Öffnen der Fugen zwischen den Betonelementen erfordern den Einsatz des Minibaggers im Demontageobjekt. Außerdem werden für das Vorzerkleinern der Betonelemente auf der Demontagebaustelle Bagger eingesetzt.

³³⁰ Eyerer, Peter; Reinhardt, Hans-Wolf: Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden – Wege einer ganzheitlichen Bilanzierung, 2000, S. 80

³³¹ Mettke, Angelika; et.al.: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, gefördert vom BMBF, Projektlaufzeit: 04/2000 – 03/2007, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling

³³² Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Krangeführter Rückbau, Teil 1 des Schlussberichtes „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“, 2008, S. 176 ff.

Die impulsartigen Geräusche resultieren aus dem Abwurf bzw. Aufprall der Platten sowie aus den Ladevorgängen. Außerdem wirkte als Fremdgeräusch der Straßenverkehrslärm mit.

Die Messergebnisse L_{eq} stellen sich in zusammengefasster Form wie folgt dar:

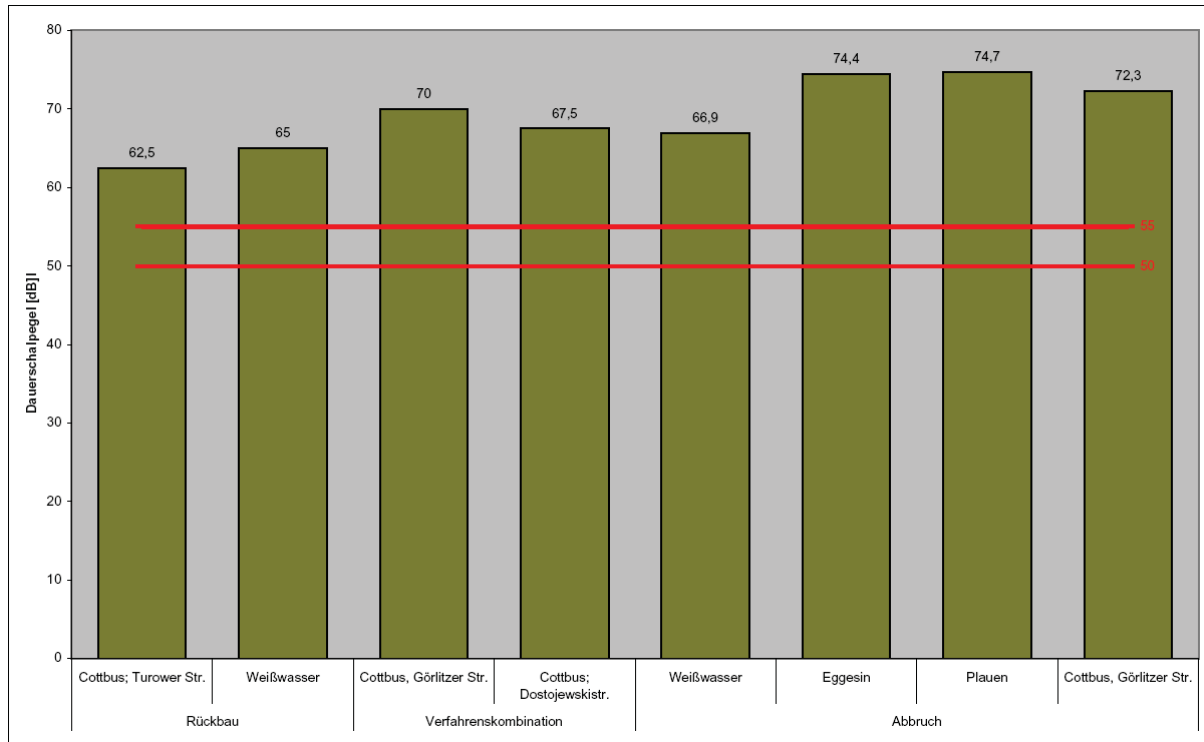


Abb. 8.9: Zusammenfassung der Ergebnisse der Lärmmessungen (L_{eq} Mittelwerte)³³³

Ob sich daraus schädliche Umwelteinwirkungen (Gefahren, erhebliche Belästigungen und Beeinträchtigungen) für die Anwohner ergeben, wird nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen (AVV Baulärm)³³⁴ beurteilt.

In Abb. 8.9 sind die Immissionsrichtwerte rot gekennzeichnet. Für Gebiete, in denen vorwiegend Wohnungen untergebracht sind, gelten tagsüber 55 dB (A), für Gebiete, in denen ausschließlich Wohnungen untergebracht sind 50 dB (A).

Die Gegenüberstellung der errechneten Lärmbelastungen der verschiedenen zum Einsatz gekommenen Technologien mit den festgelegten Immissionsrichtwerten ergibt, dass die Vorgaben bei keiner der Technologien eingehalten wurden. Zwar liegen die L_{eq} beim Rückbau (ohne Vorzerkleinerung) im Vergleich zum Abbruch um ~ 14 bis 16 % niedriger, aber trotzdem wird der vorgegebene Schalldruckpegel überschritten. Hingewiesen wird hier auf die AVV Baulärm, die bei Überschreitung der Immissionswerte um 5 dB (A) beispielhafte Maßnahmen zur Minderung enthält. Minderungsmöglichkeiten sind auch im Schlussbericht zum Forschungsvorhaben „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“, Teil 1 aufgeführt.

³³³ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Krangeführter Rückbau, Teil 1 des Schlussberichtes „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“, 2008, S. 185

³³⁴ Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen vom 19. August 1970

Da Rückbau- sowie Abbrucharbeiten immer zeitlich begrenzt sind, freilich vom Umfang des Vorhabens beeinflusst, aber täglich spätestens um 18 Uhr die Arbeiten eingestellt wurden, kann eine Schalldauerbelastung ausgeschlossen werden. Es wird demzufolge kein krankmachender Lärm erzeugt.

- Staubbelastung³³⁵

Bei der Durchführung von Abbrucharbeiten und Ladevorgängen treten zwangsläufig Staubbelastungen auf. Zur Staubminderung wird bei Abbrüchen Wasser als Benetzungs- und Vernebelungsmittel eingesetzt.

Nachstehende Messergebnisse reflektieren die Untersuchungen der Staubmessungen bei Abbrucharbeiten von industriell errichteten Gebäuden sowie bei Sandstrahl- und Baureinigungsarbeiten. Umfassend sind die Untersuchungsergebnisse im Schlussbericht „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“, Teil 1³³⁶ dokumentiert.

An drei verschiedenen Standorten wurden Staubbelastungsmessungen während des Abbruchs durchgeführt. Genauso wie bei den Lärmmessungen wurden Stichprobenmessungen durchgeführt in einer Zeitdauer von je etwa 1 Stunde. Die Hauptsammeleinrichtung war immer in der Hauptwindrichtung stationiert worden.

Die Auswertung der Filterproben in einem Labor mit stabilen klimatischen Bedingungen ergab

- für den Abbruch eines Wohngebäudes in Streifenbauweise ~ 12,71 mg/m³ Luft und
- für den Rückbau / Abbruch von Wohngebäuden in Plattenbauweise ~ 0,54 bis 0,87 mg/m³ (krangeführter Rückbau) und 4,82 mg/m³ Luft (Abbruch).

Damit werden die Staubgrenzwerte nach TRGS 900³³⁷ der einatembaren Fraktion (E) (alt: „Gesamtstaub“ G) mit 10 mg/m³ Luft beim Abbruch von Plattenbauten deutlich unterschritten, woraus sich keine potenziellen Gesundheitsgefährdungen ergeben.

Beim Abbruch des Streifenbaus resultiert die höhere Staubbelastung aus der innen- und außenwandseitigen Putzschicht.

Die Messergebnisse, die bei Sandstrahlarbeiten an der Fassade eines Wohnblocks gemessen wurden, werden aufgezeigt, da im Zuge von Aufarbeitungen an Betonelementen solche Maßnahmen je nach sekundären Nutzungsanforderungen von den Architekten gefordert werden.

Nach der TRGS 906³³⁸ sind Tätigkeiten, bei denen die Beschäftigten alveolengängigen Stäuben u.a. aus kristallinem Siliziumdioxid (SiO₂) in Form von Quarz³³⁹ ausgesetzt sind, als krebserzeugend ein-

³³⁵ Definition Staub nach BGI 5047 Mineralischer Staub: „Mineralischer Staub ist eine disperse Verteilung fester Stoffe in der Luft, entstanden insbesondere durch mechanische Prozesse oder durch Aufwirbelungen. Unterschieden wird die alveolengängige (A-Fraktion, A-Staub; früher: Feinstaub) und die einatembare (E-Fraktion, E-Staub; früher: Gesamtstaub) Staubfraktion.“

³³⁶ Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Krangeführter Rückbau, Teil 1 des Schlussberichtes „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“, 2008, S. 191 ff.

³³⁷ TRGS 900 Arbeitsplatzgrenzwerte, Ausgabe Januar 2006, zuletzt geändert und ergänzt Juni 2008

³³⁸ TRGS 906 Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV, Ausgabe Juli 2005, zuletzt geändert und ergänzt März 2007

³³⁹ Quarz: ist ein natürliches, gesteinsbildendes Mineral und kommt überall in unserer natürlichen Umwelt vor. Quarz dient als Baustoff wie auch als Rohstoff für die Keramik-, Glas- und Zementindustrie. [http://www.euroquarz.de, aufgerufen am 22.03.2009]

zustufen. Damit ist Quarzfeinstaub gemäß § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV wie ein Gefahrstoff zu behandeln.

Die Gefährdung durch Quarzfeinstaub bezieht sich auf den A-Staub. Quarz, auch als Feinstaub, ist chemisch inert.

Der in der früheren TRGS 900 festgesetzte Arbeitsplatzgrenzwert für die alveolengängige Fraktion von silikogenen Stäuben von 0,15mg/m³ Luft wurde zurückgezogen. Stattdessen wird für den A-Staub 3 mg/m³ in der aktuellen TRGS 900 vorgegeben.

Wird als Orientierungsmaßstab für die Gefährdungsabschätzung dennoch der Wert von 0,15 mg/m³ herangezogen, so wurde beim Abstrahlen der gelockerten Betonbestandteile der Wert um das 3,5-fache und beim Abkehren des Strahlmittels und der Betonbestandteile, v.a. des Zementsteins, der Wert um das 5-fache überschritten.

Die untersuchten Materialproben wiesen unterschiedliche Quarzkonzentrationen auf. Ob das Strahlmittel mehr als 2 Gew.-% (zul. ≤ 2 Gew.-%) an freier kristalliner Kieselsäure enthielt, wurde allerdings nicht geprüft.

Aufgrund der geringen Analyseergebnisse ist eine Verallgemeinerung dieser Ergebnisse allerdings nicht möglich.

Minderungsmaßnahmen für Staubbelastungen sind u.a. der BGI 5047³⁴⁰, dem Praxisleitfaden „Quarzfeinstaub“³⁴¹ oder dem Schlussbericht „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“³⁴² entnehmbar.

- Erschütterungen

Gemessen wurden Erschütterungen, die bei Abbrucharbeiten auftreten. Hierbei ging es in erster Linie darum, festzustellen, ob benachbarte Gebäude geschädigt werden können. Außer den üblichen Erschütterungsbelastungen, die bei Abbrüchen mittels Bagger entstehen, ist ein Extremfall bewusst konstruiert und getestet worden. Aus dem 11. Geschoss ist das schwerste verbaute Betonelement (Außenwandplatte) abgeworfen worden.

Die Messungen und Berechnungen der Erschütterungen im Abstand von 25, 50, 75 und 100 m Entfernung zum Erschütterungszentrum üben selbst bei Eintritt des extremsten Erschütterungsereignisses keinen schädigenden Einfluss auf die benachbarten Wohnbauten auf. Die Ergebnisse sind im Detail bewiesen.³⁴³

³⁴⁰ BGI 5047 Mineralischer Staub, Ausgabe Dezember 2006, S. 11

³⁴¹ NePSi: Leitfaden über bewährte Praktiken zum Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer durch gute Handhabung und Verwendung von kristallinem Siliziumdioxid und dieses enthaltener Produkte, Leitfaden über bewährte Praktiken – Quarzfeinstaub (Good Practice Guide), September 2006

³⁴² Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Krangeführter Rückbau, Teil 1 des Schlussberichtes

„Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“, 2008, S. 200 ff.

³⁴³ ebenda, S. 203 ff.

8.3 Zusammenfassung und Diskussion der Szenarioergebnisse

Vor dem Hintergrund der Erzielung einer höheren Ressourcenproduktivität und einer besseren Vermarktung wurde das Betonelementerrecycling mit dem Materialrecycling aus ökonomischer und ökologischer Sicht verglichen.

Anhand praxisrelevanter Szenarien wurden die Demontage mit Wieder- u./o. Weiterverwendung („Nachhaltigkeitsszenario“) der Demontage oder dem Abbruch mit Wiederverwertung und Neubau („Referenzszenarien“) gegenübergestellt, bilanziert und bewertet. Für die Charakterisierung des ökologischen Profils sind die Beeinflussungen der Teilprozesse auf die Umwelt und den Menschen betrachtet worden.

Untersucht wurde der Lebenszyklus 3 eines Bauwerks beginnend beim Teilrückbau bzw. Abbruch bis zur Wiederverwendung u./o. einschließlich der Aufbereitung des Bauschutts (vgl. Abb. 8.1; 8.2; 8.6). Betrachtet wurde lediglich die Rohbaukonstruktion anhand 3 verschiedener Szenarien.

In der Praxis ist für den Abnehmer / Kunden von Interesse, in welcher Höhe Kosten durch die Verwendung gebrauchter Bauteile reduziert werden können. Ermittelt wurde, dass für die Bereitstellung der Betonelemente auf der Demontagebaustelle (ohne Demontageskosten) für eine Innenwand rund 51 € und für eine Spannbetondeckenplatte 1,80 m breit (Systemmaß) rund 57 € zu entrichten sind. In Anbetracht der Neuteilpreise für eine Innenwand von etwa 534 € und für eine Deckenplatte von 475 € kosten die RC-IW $\frac{1}{10}$ und die RC-DP nur noch $\frac{1}{8}$ davon. Hinzuzurechnen sind allerdings die Kosten für den Transport bis zum Empfängergebäude für die (Re-)montage der gebrauchten Betonfertigteile. Bei einer Transportentfernung von 30 km kämen bei den Innenwänden ~ 11 €/t für den Transport, 72 €/t für die Remontage und 6 €/t für die Aufbereitung (vgl. Tab. 8.4) hinzu. Pro Innenwand mit i. M. 2,8 t sind dies ~ 249 €. Insgesamt ergeben sich für den Verbau einer Innenwand Kosten von ~ 300 € (ca. 10,3 m² Bauteilfläche). Die Herstellung einer neuen Betonfertigteilebauwand kostet vergleichsweise 793 € (vgl. Tab. 8.5). Insofern reduzieren sich die Kosten durch die Wiederverwendung einer Innenwand um mehr als die Hälfte.

Bei Betrachtung der Wiederverwendung einer Spannbetondecke subsumieren sich die Kosten durch den Transport mit 11 €/t, die Remontage mit 57 €/t und durch die Aufbereitung mit 6 €/t auf ~ 319 € (10,7 m² Bauteilfläche). Die Differenz zum Einbau einer neuen Deckenplatte mit ~ 824 € beträgt somit ~ 505 €. Die Kosten machen in dem Fall nur noch etwa $\frac{1}{3}$ aus.

Der finanzielle Vorteil, der sich für den Bauherrn ergibt, ist somit eindeutig belegbar.

Umgesetzte Vorhaben weisen durch die Wiederverwendung von RC-Betonbauteilen um 10 – 41 % geringere Rohbaukosten im Vergleich zu konventionellen Ausführungen auf.

Selbst bei der Betrachtung des Gesamtprozesses „Nachhaltigkeitsszenario“, beginnend bei der Demontage bis zur Wiederverwendung, werden ~ 56 % bei einer Innenwand und ~ 30 % beim Einbau einer Decke gegenüber den traditionellen Ausführungen eingespart.

Aus der Gegenüberstellung der exemplarisch zugrunde gelegten Szenarien geht hervor, dass sich ein Kostenvorteil bei der Maßnahme Teilrückbau und Wiederverwendung im Vergleich zum Neubau von 12 % und im Vergleich zum Abbruch und Neubau von knapp 33 % ergibt.

Infolge des Erhalts der Wertschöpfung der gebrauchsfertigen Betonelemente stellt sich ein wirtschaftlicher Vorteil ein. Die Höhe dieses Vorteils wird maßgeblich von der Wiederverwendungsquote beeinflusst.

Auf der Basis der ermittelten energetischen Aufwände, resultierend aus den hauptsächlich eingesetzten Maschinen und Geräten, für die einzelnen Szenarien, zeigt es sich, dass die Demontage (FZK) gekoppelt mit der Wiederverwendung zurückgebauter Betonelemente (im betrachteten Fall nur ~ 33 Masse-%) und der stofflichen Aufbereitung des restlichen Bauschutts die energetischen Aufwendungen um ~ 80 % vermindert werden können im Vergleich zur Demontage mit stofflicher Aufbereitung des Bauschutts und einem Neubau (adäquat der Wiederverwendung). Im Vergleich zum Abbruch mit stofflicher Aufbereitung und einem Neubau gibt es praktisch keinen Unterschied zum Energieaufwand.

Bei Betrachtung des Szenarios 1 „Nachhaltigkeitsszenario“ beläuft sich der Energieaufwand für die Wiederverwendung von einer Tonne Betonfertigteile mit FZK auf ~ 484 MJ. Dem gegenüber steht bspw. der Energieinhalt für eine Tonne Betonelemente mit 3.080 MJ (vgl. Tab. 8.16). Im Vergleich der Szenarien 1 (Demontage, Wiederverwendung, stoffliche Aufbereitung) mit 2 (Demontage, stoffliche Aufbereitung, Neubau) stellt sich eine Energieeinsparung von 3,04 GJ pro Tonne bei der Wiederverwendung ein. Hochgerechnet bedeutet dies für eine Spannbetondeckenplatte mit 3,536 t eine Einsparung von 10,75 GJ.

Interessant scheint folgender theoretischer Vergleich: Der Energiebedarf eines 2-Personen-Haushalts (2-P-Haushalt) beträgt etwa 2.800 kWh³⁴⁴ im Jahr bzw. 10.080 MJ (10,08 GJ). Vergleichsweise könnte durch die Wiederverwendung von einer einzigen Spannbetondeckenplatte ein 2-P-Haushalt gut ein Jahr lang mit Energie versorgt werden.

Umweltrelevant ist zudem folgender Vergleich: Für die Herstellung von einer Tonne Fertigteilbeton werden 3.080 MJ Energie benötigt. Unter dem Ansatz, dass mit 1 Liter Heizöl 42.700 kJ erzeugt werden, sind für 1 Tonne Fertigteilbeton ~ 72 Liter Heizöl erforderlich. Die Bereitstellung der gebrauchten Betonelemente zur Wiederverwendung hingegen erfordert lediglich 3,7 Liter/t Betonfertigteile (vgl. Tab. 8.15).

Hochgerechnet auf eine Innenwand werden i. M. 202 Liter und für eine Deckenplatte (6 m x 1,80 m Systemmaß) 255 Liter Heizöl benötigt. Eine gebrauchte Innenwand beinhaltet dagegen nur 10 Liter und eine Deckenplatte 13 Liter. D.h. nur etwa 5 % der Energie wird bei der Wiederverwendung im Vergleich zum Neubauteil erforderlich.

Die im Nachhaltigkeitsszenario hergestellten 3 EFH mit 30 DP und 48 IW würden eine Einsparung von 16.476 Liter Heizöl gegenüber der Anlieferung von neuen Betonfertigteilen ergeben. Oder anders formuliert anstelle 17.346 Liter Heizöl werden 870 Liter Heizöl gebraucht.

³⁴⁴ Durchschnittlicher Stromverbrauch im Haushalt pro Jahr nach Haushaltsgröße in Deutschland:

1-P-Haushalt etwa 1.600 kWh

2-P-Haushalt etwa 2.800 kWh

3-P-Haushalt etwa 3.900 kWh

4-P-Haushalt etwa 4.500 kWh

[Quelle: VDEW, unter <http://www.energiesystem.de/Auswahl...>, aufgerufen am 24.3.2009]

Die Höhe des Energieverbrauchs korreliert mit der Freisetzung der Emissionen. Die SO₂-Emissionen der Szenarien 2 (Demontage, stoffliche Aufbereitung, Neubau) und 3 (Abbruch, stoffliche Aufbereitung, Neubau) sind etwa 15 mal höher als Szenario 1 (Demontage, Wiederverwendung, stoffliche Aufbereitung). Die CO₂-Emissionen der Szenarien 2 und 3 sind gut 8 mal höher als Szenario 1. Verantwortlich für die hohe Emissionsrate der Szenarien 2 und 3 ist die Neuproduktion der Betonfertigteile. Eine Schadstoffreduzierung ist nachweislich durch den Wiedereinsatz von Betonelementen gegeben.

Außerdem können durch die Wiederverwendung natürliche Ressourcen geschont werden. Durch die Wiederverwendung bspw. einer einzigen Spannbetondeckenplatte brauchen 21 t Naturrohstoffe nicht in Anspruch genommen werden. Gleichzeitig wird die Flächeninanspruchnahme geschont und Stoffströme werden vermindert.

Zu den Einflüssen maschinenbedingter Emissionen und Immissionen bzw. ihre gesundheitlichen Auswirkungen auf die Umwelt und Gesundheit des Menschen zählen außer den o.a. Luftschadstoffen auch belastigende Umweltfaktoren wie Lärm und Feinstaub. Da der Mensch und die Umwelt niemals nur einem einzigen Schadstoff oder einem einzigen Belastungsfaktor ausgesetzt sind, soll zumindest auf das Zusammenwirken dieser hingewiesen werden. Die Messergebnisse zum Lärm beim krangeführten Rückbau von Plattenbauten sind im Vergleich zum Abbruch geringer, obwohl die Immissionswerte generell überschritten wurden. Gegenüber dem krangeführten Rückbau liegen die Lärmpegel bei Abbrucharbeiten allerdings um etwa 10 dB (A) höher. Die Staubemissionen beim Abbruch sind – trotz des Benetzens des Gebäudes mit Wasser – um das 5- bis 9-fache höher als beim krangeführten Rückbau gemessen. Eine erhöhte Staubbelastung wurde beim Abbruch von in Streifenbauweise errichteten Wohnbauten infolge von innen- und außenseitigen Putzschichten festgestellt. Deshalb sind unbedingt entsprechende Minderungsmaßnahmen für Staubbelastungen in Vorbereitung der Maßnahme einzukalkulieren.

Beim krangeführten Rückbau treten keine Erschütterungen auf. Die während der klassischen Abbrucharbeiten gemessenen Erschütterungen haben allerdings keinen schädigenden Einfluss auf die benachbarten Wohnbebauungen ausgeübt.

9 Baustoff- / Materialrecycling

Nachfolgend wird zusammenfassend auf den bisherigen und den aktuellen Erkenntnisstand zum Material- resp. Baustoffrecycling im Bauwesen eingegangen. Hierbei wird auf die beispielhaft kennzeichnenden Veröffentlichungen [14], [31], [43], [52], [59], [61], [65], [66] Bezug genommen.

9.1 Anfallmengen, Verwertungs- und Recyclingquoten mineralischer Bau- und Abbruchabfälle

Nachfolgend wird ein Überblick über den aktuellen Stand der anfallenden Mengen an Bau- und Abbruchschutt und deren Recyclingquoten in Europa und Deutschland gegeben.

- Anfallmengen

Bau- und Abbruchabfälle gehören zu den größten Abfallströmen in Europa. Jährlich fallen ca. 380 Mio. Tonnen Bau- und Abbruchschutt an, wovon nach Schätzungen lediglich 25 % recycelt werden. In den acht durch die F.I.R. (Federation Internationale du Recyclage) organisierten Mitgliedsstaaten (Belgien, Österreich, Niederlande, Schweiz, Tschechische Republik, Spanien, Tirol und Deutschland) werden von den jährlich anfallenden ca. 150 Mio. t Bauabfälle etwa 60 % recycelt (s. Abb. 9.1, 9.2)

Angenommen wird, dass in den anderen EU-Ländern die Recyclingquote 10 %, höchstens 15 % beträgt.³⁴⁵

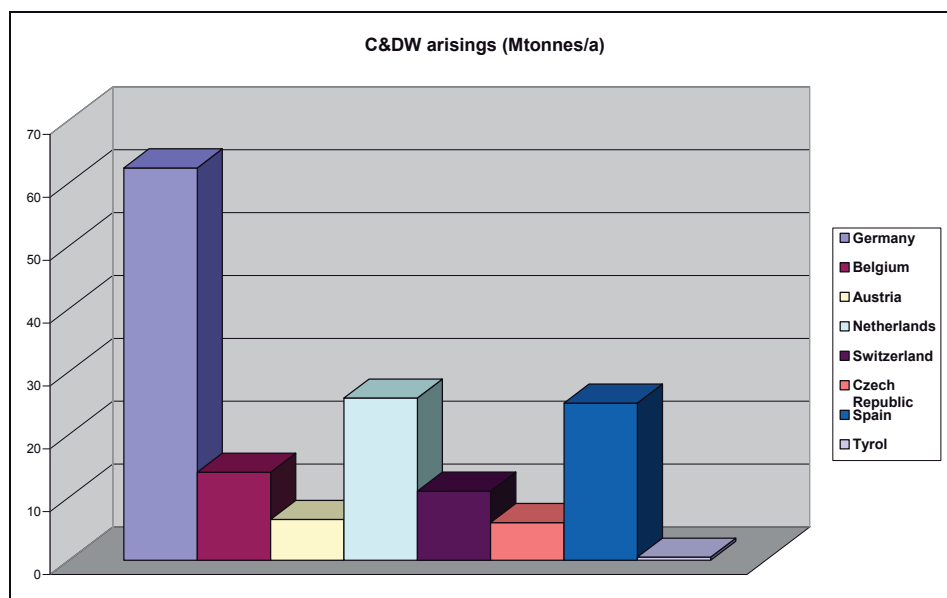


Abb. 9.1: C&DW arisings (Mtonnes/a) F.I.R.-Mitgliedsstaaten³⁴⁶

³⁴⁵ Cuperus, Geert: Country reports, status of recycling within Europa, Vortrag, F.I.R. Interforum 2007 in Amsterdam

³⁴⁶ ebenda

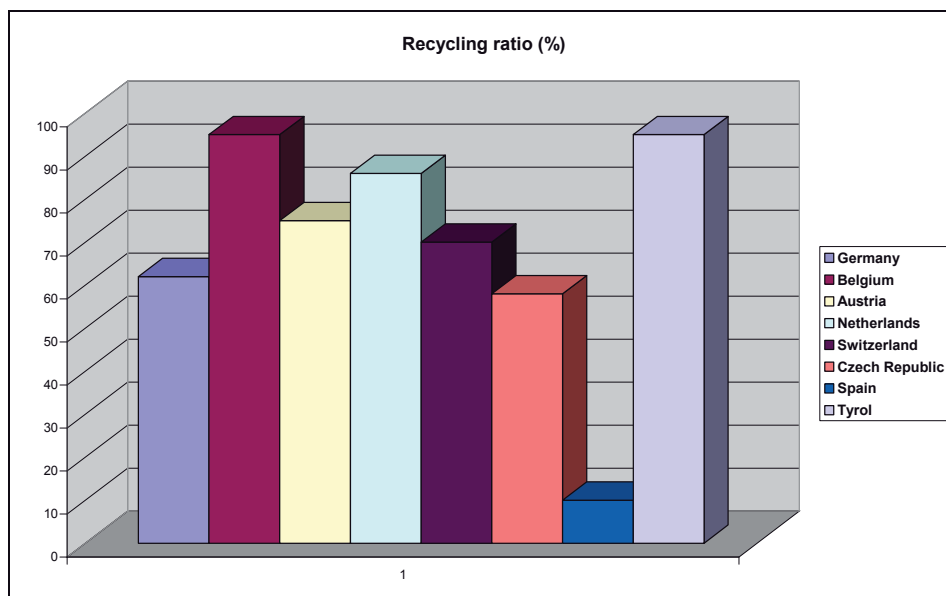


Abb. 9.2: Recycling ratio (%) F.I.R.-Mitgliedsstaaten³⁴⁷

Von den in der Bundesrepublik Deutschland insgesamt angefallenen Abfallmengen in Höhe von rd. 331,876 Mio. t im Jahr 2005 entfielen 184,919 Mio. t (rd. 55,7 %) auf Bau- und Abbruchabfälle³⁴⁸.

In Abb. 9.3 wird das gesamte Abfallaufkommen für Deutschland von 1996 bis 2005 aufgezeigt. Feststellbar ist, dass seit der Jahrtausendwende das Abfallaufkommen insgesamt wie auch die Bau- und Abbruchabfälle eine rückläufige Tendenz aufweisen.

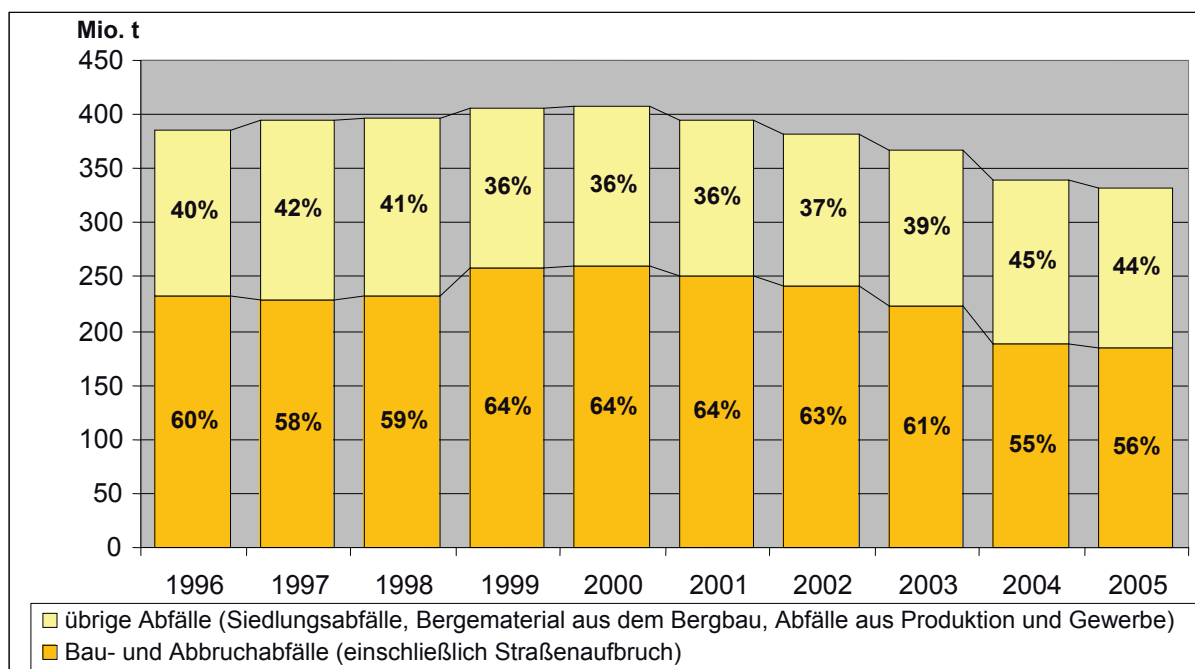


Abb. 9.3: Abfallaufkommen 1996 – 2005 in der BRD³⁴⁹

³⁴⁷ Cuperus, Geert: Country reports, status of recycling within Europa, Vortrag, F.I.R. Interforum 2007 in Amsterdam

³⁴⁸ <http://www.destatis.de>, Abfallaufkommen; aufgerufen am 03.02.2009

³⁴⁹ nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, August 2007, in: www.destatis.de

Als Ursache für den Rückgang des Aufkommens von Bau- und Abbruchabfällen wird von der Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau (KWTB)³⁵⁰ außer dem Wegfall von zeitlich befristeten Großbaumaßnahmen (z.B. Projekte im Rahmen der „Verkehrsprojekte Deutsche Einheit“, ICE-Strecke) die weiter stark rückläufige Entwicklung in der Bau-, Baustoff- und Recyclingbranche genannt.

Am 4. Juni 2007 legte die Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaft Bau (ARGE KWTB)³⁵¹ den fünften Monitoringbericht vor, der neben statistischen Datenerhebungen die Situation der mineralischen Bauabfälle beschreibt.

Danach fielen in der BRD pro Jahr (Durchschnitt der vergangenen zehn Jahre bis 2004) 218 Mio. t mineralische Bauabfälle an, wovon 78,6 Mio. t (36 %) auf Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfälle bzw. gemischte Bau- und Abbruchabfälle und 139,4 Mio. t (64 %) auf Bodenaushub entfielen. Dabei verhält sich der Bodenaushub mit $\sim \frac{2}{3}$ der anfallenden Mengen sowie die jeweiligen Fraktionen Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfälle etwa in gleich bleibender Größenordnung.

Von den im Mittel jährlich angefallenen 78,6 Mio. t Bau- und Abbruchabfällen ohne Bodenaushub entfielen 54,7 Mio. t (69,6 %) auf Bauschutt, 18,2 Mio. t (23,2 %) auf Straßenaufbruch und 5,7 Mio. t (7,2 %) auf gemischte Bau- und Abbruchabfälle / Baustellenabfälle (s. Abb. 9.4). Gemäß der ARGE KWTB betrug die Bauabfallmenge in 2004 200,7 Mio. t (s. Abb. 9.5). Die Fraktionen Bauschutt, Straßenaufbruch, Baustellenabfälle und Bauabfälle auf Gipsbasis ergeben zusammen 72,4 Mio. t.

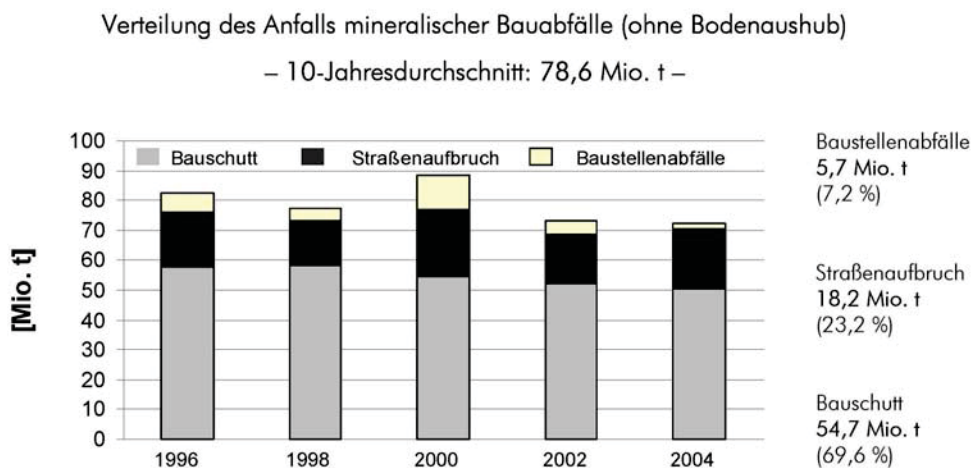


Abb. 9.4: Verteilung des Anteils mineralischer Bau- und Abbruchabfälle (ohne Bodenaushub) in der BRD³⁵²

³⁵⁰ 4. Monitoring-Bericht Bauabfälle (Erhebung 2002) vom 31.10.2005, S. 20 f.

³⁵¹ ARGE KWTB ist eine freiwillige Brancheninitiative, in der sich die am Bau beteiligten Wirtschaftsverbände zusammengeschlossen haben, mit dem Ziel, die 1996 noch abgelagerten, verwertbaren Bauabfälle bis zum Jahr 2005 um die Hälfte zu reduzieren. Mit der Übergabe des 5. Monitoringberichtes endete die Selbstverpflichtung der Bauwirtschaft gegenüber der Bundesregierung.

³⁵² ARGE KWTB, 5. Monitoring-Bericht Bauabfälle, 2007, S. 27

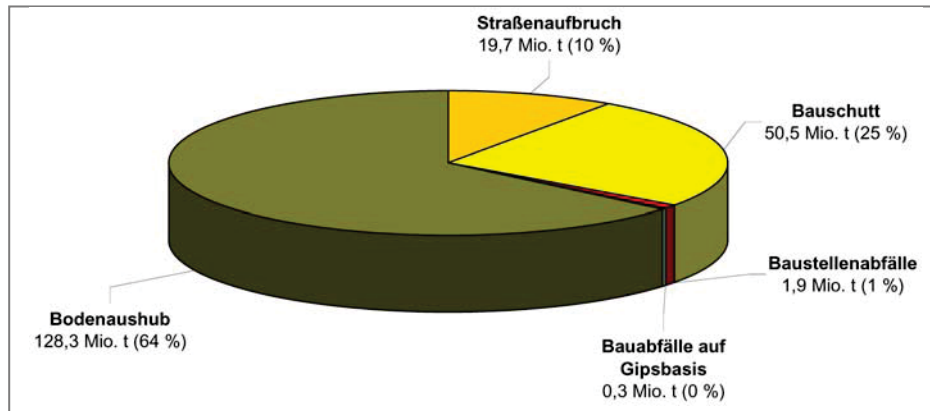


Abb. 9.5: Statistisch erfasste Mengen mineralischer Bauabfälle 2004³⁵³

Nicht unerwähnt bleiben soll, dass sich die Anfallmengen der Abfälle aus thermischen Prozessen auf ca. 15 Mio. t Aschen und Schlacken aus Kraftwerken und anderen Verbrennungsprozessen, ca. 7 Mio. t Hochofenschlacken und ca. 6 Mio. t Stahlwerksschlacken belaufen.³⁵⁴ Darauf wird in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen.

- Recycling- / Verwertungsquoten

Von den 72,4 Mio. t angefallenen Bauabfällen (Bauschutt, Straßenaufbruch, Baustellenabfälle) wurden 49,6 Mio. t (68,5 %) Recycling-Baustoffe³⁵⁵ hergestellt. 20,4 Mio. t sind in stationären Anlagen (41,1 %) und 29,2 Mio. t (58,9 %) in mobilen und semimobilen Anlagen aufbereitet worden.³⁵⁶

Von den 50,5 Mio. t angefallenen Bauschuttmengen wurden 31,1 Mio. t (\triangleq 61,6 %) recycelt, 8,4 Mio. t (16,6 %) im übertägigen Bergbau, 3,8 Mio. t (7,5 %) direkt durch die öffentliche Hand und 2,6 Mio. t (5,2 %) im Deponiebau verwertet.³⁵⁷ 4,6 Mio. t (9,1 %) wurden auf Deponien beseitigt (s. Abb. 9.6 li.). Daraus ergibt sich eine Verwertungsquote (Recycling und direkte Verwertung) von insgesamt 90,9 %.

Von den 19,7 Mio. t angefallenem Straßenaufbruch wurden 18,4 Mio. t (93,4 %) recycelt. 700.000 t (3,6 %) wurden durch die öffentliche Hand, 100.000 t (0,5 %) im Deponiebau und 300.000 t (1,5 %) im übertägigen Bergbau verwertet. Deponiert wurden 200.000 t (1 %) (vgl. Abb. 9.6 re.). Daraus folgt eine 99 %ige Verwertungsquote.

³⁵³ ARGE KWTB, 5. Monitoring-Bericht Bauabfälle, 2007, S. 16

³⁵⁴ Wagner, Rüdiger: Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen und an Verfüllungen, in: Tagungsunterlagen 11. Baustoff-Recycling-Tag am 08.10.2008, Filderstadt-Bernhausen

³⁵⁵ Recycling-Baustoffe sind in RC-Anlagen aufbereitete Gesteinskörnungen (zerkleinert, separiert, klassiert)

³⁵⁶ ARGE KWTB, 5. Monitoring-Bericht Bauabfälle, 2007, S. 17 f.

³⁵⁷ Unaufbereiteter Bauabfall, der sich für bautechnische Zwecke auch ohne Aufbereitung eignet.

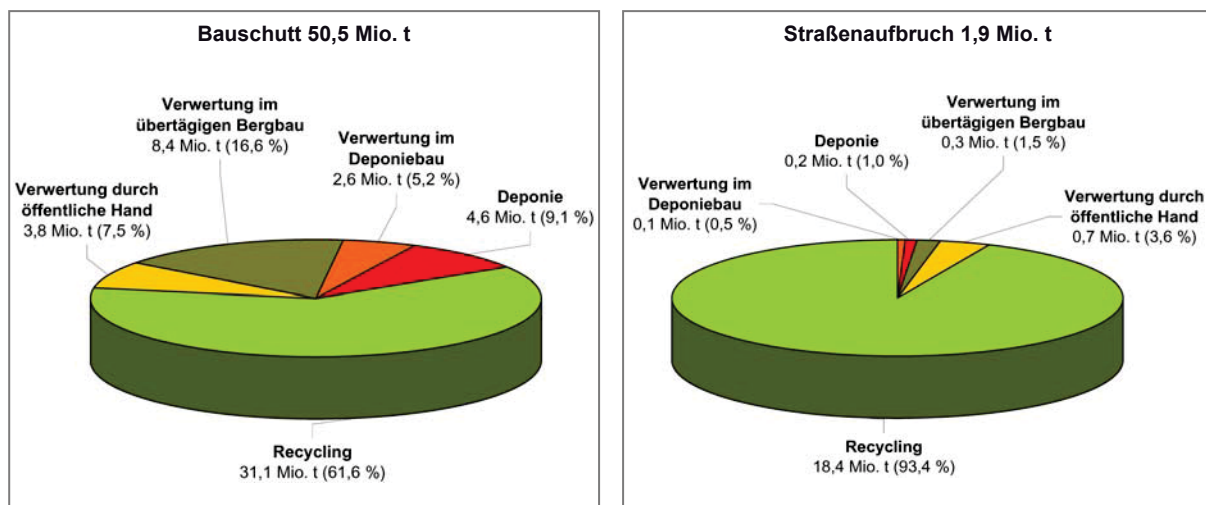


Abb. 9.6: Verbleib (Verwertung und Beseitigung) von Bauschutt und Straßenaufbruch im Jahr 2004³⁵⁸

Die 1,9 Mio. t angefallenen Baustellenabfälle wurden zu 5,3 % (100.000 t) recycelt und 400.000 t (21 %) wurden im übertägigen Tagebau verbaut. Der größte Teil der Baustellenabfälle wurde deponiert (1,4 Mio. t \triangleq 73,7 %) (vgl. Abb. 9.7 li.).

In 2004 fielen 280.000 t Bauabfälle auf Gipsbasis an, von denen 210.000 t (74,8 %) im übertägigen Bergbau und 560 t (0,2 %) im Deponiebau verwertet wurden. 70.000 t (25 %) wurden auf Deponien beseitigt (vgl. Abb. 9.7 re.).

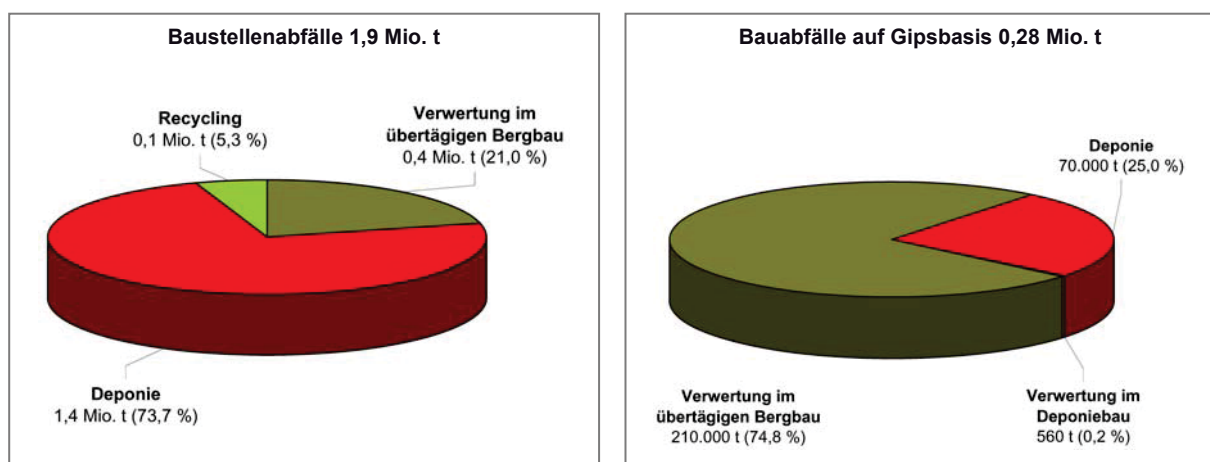


Abb. 9.7: Verbleib (Verwertung und Beseitigung) von gemischten Bau- und Abbruchabfällen / Baustellenabfälle und Bauabfälle auf Gipsbasis im Jahr 2004³⁵⁹

³⁵⁸ ARGE KWTB, 5. Monitoring-Bericht Bauabfälle, 2007, S. 17, 19

³⁵⁹ ebenda, S. 20

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für die mineralischen Bauabfälle ohne Bodenaushub eine Verwertungsquote im Jahr 2004 von 91,3 % erreicht wurde. Sie setzt sich aus dem Anteil der produzierten RC-Baustoffe mit 49,6 Mio. t (68,5 %) und dem Anteil des direkt verwerteten Materials mit 16,5 Mio. t (22,8 %) zusammen.

Von den in 2004 erfassten 128,3 Mio. t Bodenaushub wurde der größte Teil übertägig im Bergbau (68 Mio. t = 53 %), weitere 28,3 Mio. t (22,1 %) direkt durch die öffentliche Hand und 7,2 Mio. t (5,6 %) im Deponiebau verwertet. Recycelt wurden 9,1 Mio. t (7,1 %) und deponiert 15,7 Mio. t (12,2 %) (vgl. Abb. 9.8). Für den Boden ergibt sich somit insgesamt eine Verwertungsquote von 87,8 %.

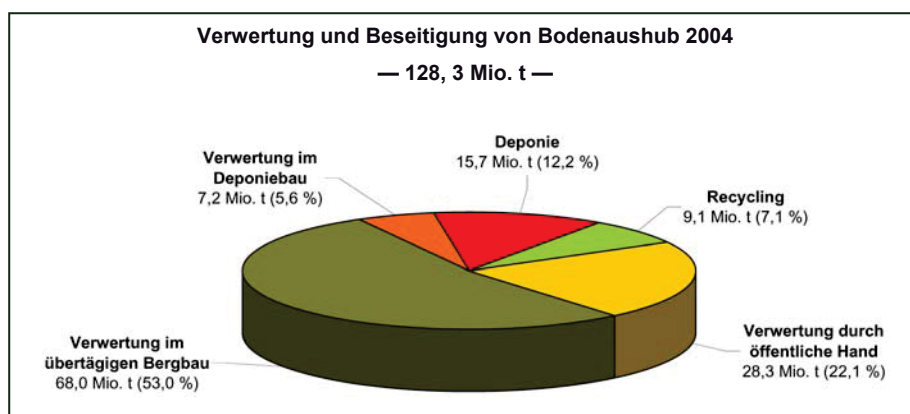


Abb. 9.8: Verbleib (Verwertung und Beseitigung) von Bodenaushub im Jahr 2004³⁶⁰

Mit den erzeugten RC-Baustoffen aus Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfall konnten im Jahr 2004 9% der primären Rohstoffe (Gesteinskörnungen) ersetzt werden (s. Abb. 9.9).

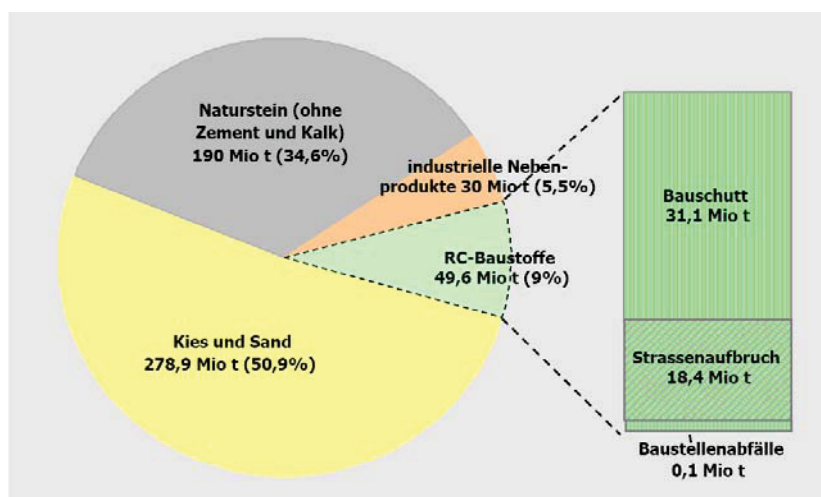


Abb. 9.9: Produktion mineralischer Gesteinskörnungen in Deutschland im Jahr 2004: 548,5 Mio. t³⁶¹

³⁶⁰ ARGE KWTB, 5. Monitoring-Bericht Bauabfälle, 2007, S. 21

³⁶¹ ebenda, S. 22

- Diskussion

Die Fraktionen Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfälle zusammengefasst, zeigen, dass von den jährlich im Durchschnitt anfallenden 78,6 Mio. t ca. 55,1 Mio. (70,1 %) recycelt und 14,6 Mio. t (18,6 %) direkt verwertet wurden. Damit beträgt die mittlere RC- und Verwertungsquote in Summe der letzten Jahre 88,7 %. Dieser Erfolg ist nicht zuletzt auf die freiwillige Brancheninitiative der ARGE KWTB zurückzuführen. 1996 ging sie gegenüber dem Bundesumweltministerium die Verpflichtung ein, die verwertbaren abgelagerten Bauabfälle bis zum Jahr 2005 zu halbieren. Das Ergebnis zeigt, dass dieses Ziel erreicht wurde, denn etwa nur noch ein Zehntel der angefallenen Bauabfälle in 2004 wurden deponiert. Allerdings sind dies immer noch ca. 10 - 11 Mio. t, die jährlich im Schnitt der letzten 10 Jahre dem Kreislauf entzogen wurden. Dagegen spricht sich im 5. Monitoring-Bericht die ARGE KWTB auch aus und regt an, die Potenziale der Fraktionen Bodenaushub und Bauschutt zukünftig auszuschöpfen.

Die Fraktionen Bodenaushub und Bauschutt weisen demzufolge Potenziale zur Steigerung der Recycling-Baustoff-Produktion auf. Das größte ungenutzte Verwertungspotential zeigt die Fraktion Bodenaushub mit über 15 Mio. t auf, gefolgt vom Bauschutt mit i.M. von 5,6 Mio. t.

Festzustellen ist zudem, dass die Eigenschaften der Rezyklate noch auf einem zu niedrigen Niveau bei der Verwertung genutzt werden (vgl. Kap. 9.2).

Europaweit betrachtet ist es für die Umsetzung der neuen Politik, die EU zur Recyclinggesellschaft resp. Recycling als Wirtschaftsschwerpunkt zu entwickeln, unabdingbar, nachhaltig Ressourcen zu nutzen bzw. die Ressourceneffizienz zu erhöhen. Die Recyclingquote für Bau- und Abbruchabfälle soll im Jahr 2020 in Europa 70% betragen. Für Deutschland könnte der Schluss gezogen werden, dass diese EU-Vorgaben bereits heute erfüllt sind. Da aber keine bundeseinheitlichen Regelwerke zur umweltverträglichen Bewertung für Verwertungen existieren und perspektivisch von schärferen Grenzwerten ausgegangen werden muss, die sich aus dem Vorsorgeschutz der Medien Grundwasser und Boden ergeben, ist mit deutlichen Einschränkungen der bisherigen Einsatzgebiete für Rezyklate zu rechnen. Deshalb sind innovative Lösungen gefragt. Auf eine Alternative, der Verwendung von RC-Baustoffen im Beton, wird in Kap. 9.5 eingegangen.

Der Wissens- und Technologietransfer fortschrittlicher, moderner Recyclingindustriengesellschaften und die Aus- und Weiterbildung in wissenschaftlichen Einrichtungen sind mögliche Instrumente zur Erreichung der hochgesteckten, sinnvollen Recyclingziele.

9.2 Überblick zur Anwendung / zu Einsatzgebieten von mineralischen Recycling-Baustoffen (RC-Baustoffen)

Je nach stofflicher Zusammensetzung und Auslaugverhalten bestehen für RC-Baustoffe zahlreiche Verwertungsoptionen.

Bodenaushubmassen werden überwiegend als Verfüll- und Auffüllmaterial für Abgrabungen, im über-tägigen Bergbau (Tagebau) und im Landschaftsbau eingesetzt.

Nachstehend wird näher auf die Fraktion Bauschutt, die überwiegend heterogen zusammengesetzt ist, eingegangen.

Die stoffliche Zusammensetzung von RC-Baustoffen wird bekanntermaßen nicht nur durch die verbauten Baumaterialien im Gebäude bestimmt, sondern durch das gewählte Abbruch- und Rückbauverfahren, die Separierung und Getrennthaltung der Bauabfälle und durch die Aufbereitungstechnik der Recyclinganlage.

Je sortenreiner das Material gewonnen und aufbereitet werden kann, desto hochwertiger ist es einsetzbar. Die Aufbereitungstechnik kann auf das Input (Materialzusammensetzung) und die Art der weiteren Nutzung abgestimmt werden, so dass die Materialeigenschaften des Outputs (Gesteinskörnung) weniger variieren. Das bedeutet, dass z. B. die beim Abbruch eines Gebäudes anfallenden Baustoffe, wie Ziegel, Porenbeton und Beton separat direkt auf der Baustelle zu erfassen sind.

Eine hochwertige Verwertung wird angestrebt, um die vorhandenen Materialeigenschaften optimal auszunutzen.

Seit Jahren kommen RC-Baustoffe hauptsächlich im Straßen-, Erd- und Tiefbau in folgenden Bereichen zur Anwendung:³⁶²

1. im Straßenoberbau
 - als ungebundene Tragschichten (ToB)
 - in Frostschutzschichten
 - in Asphalttrag-, -binder-, -deckschichten
 - als Gesteinskörnung für Betontragschichten (Unterbeton)
2. im Erdbau / Straßenunterbau (1.+2. Anwendungsbereiche \triangleq 91,1%)
 - für Hinterfüllungen, Überschüttungen
 - für Baugrubenverfüllungen, Vegetationsschichten
 - für Bettungsmaterial von Energie- / Fernmeldekabeln sowie Leitungsrohren
 - für Lärmschutzwälle, Dämme
 - als Unterbau (unter Asphalt, Beton)
 - als Baustraßen / Bodenverfestigungen
 - für Untergrundverbesserungen
3. im Verkehrswegebau, Sportplatzbau, Deponiebau, Landschaftsbau
 - in ungebundenen Deckschichten
 - als Pflasterbettung
 - in ungebundenen Tragschichten
 - in Sportplatztragschichten
 - als Drainageschichten
4. im Betonbau (DIN 1045-2, DIN EN 206-1) (4,9%)
 - als Gesteinskörnung für Beton und Mörtel nach DIN 4226-100

³⁶² Schulz, Ingo: Zukünftige Entsorgung von mineralischen Abfällen, Vortrag anlässlich der 10. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, 5.-7. Februar 2007; die in Klammern angegebenen Werte (in %) geben die RC-Quote an.; Frisch, Klaus-Ruthard: Aufbereitung und Verwertung von mineralischen Bauabfällen, in: Abbrucharbeiten, Hrsg. Lippok, Jürgen; Korth, Dietrich, 2007, S. 440

(unbewehrter Beton, wasserundurchlässiger Beton, Innen- / Außenbauteile)

- als Rückenstützbeton (Bordsteine)
- für Sauberkeitsschichten
- für Beton im Wege-, Garten- und Landschaftsbau (Sichtbetonelemente)
- für Wandbausteine

5. Innovatives / Sonstiges (3.+5. Anwendungsbereiche \triangleq 4%)

- als RC-Blähgranulat
- als Zierkiese, RC-Ziegel
- für Ziegelbeton
- als Baum- / Dachgartensubstrate
- als Mineralisierungsbeigaben für Kompostzuschläge
- als Schotterrasen

Die aufgeführten Einsatzgebiete für RC-Baustoffe korrelieren mit den von KRASS et. al.³⁶³ seit 1989 im zweijährigen Turnus durchgeführten Umfragen zu den Anfall- und Verwertungsmengen von Bauabfällen – zuletzt 2004 publiziert für das Wirtschaftsjahr 2001. Aufgezeigt wird, dass die erfassten Mengen des angelieferten Bauschutts zur Hälfte aus dem Hochbau und zu $\sim \frac{1}{3}$ (34 %) aus der Straße stammen. Die verbleibenden 16 % des angelieferten Bauschutts sind den nicht genau zu identifizierenden Quellen zuzuordnen.

Über 40 % der aus dem Bauschutt hergestellten RC-Baustoffe wurde in Tragschichten und Frostschuttschichten eingesetzt. Rund 45 % sind im Erd- und Landschaftsbau verwertet worden. Zwischengelagert und sonstig verwertet wurden RC-Baustoffe zu knapp 15 %.

In offener Bauweise wurden im Jahr 2002 19,45 Mio. t und mit Sicherungsmaßnahmen 31,65 Mio. t RC-Baustoffe eingebaut.³⁶⁴

9.3 Rechtliche Rahmenbedingungen zum Einsatz von RC-Baustoffen

Die ordnungsgemäße und schadlose Verwertung von RC-Baustoffen wird durch die Anforderungen verschiedener Regelwerke reglementiert. Neben den umweltrechtlichen Anforderungen sind die baulichen Eigenschaften für den tatsächlichen Einsatz der Rezyklate maßgebend (s. Abb. 9.10).

³⁶³ Krass, Klaus; Brüggemann, Michael; Görener, Ersun: Anfall, Aufbereitung und Verwertung von Recycling-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten im Wirtschaftsjahr 2001 – Teil 1: Recycling-Baustoffe, in: Straße und Autobahn, Heft 4, S. 198 f.

³⁶⁴ Dehoust, Günter et. al.: Aufkommen, Qualität und Verbleib mineralischer Abfälle, Entwurf: Endbericht im Auftrag des UBA, November 2007, S. 31

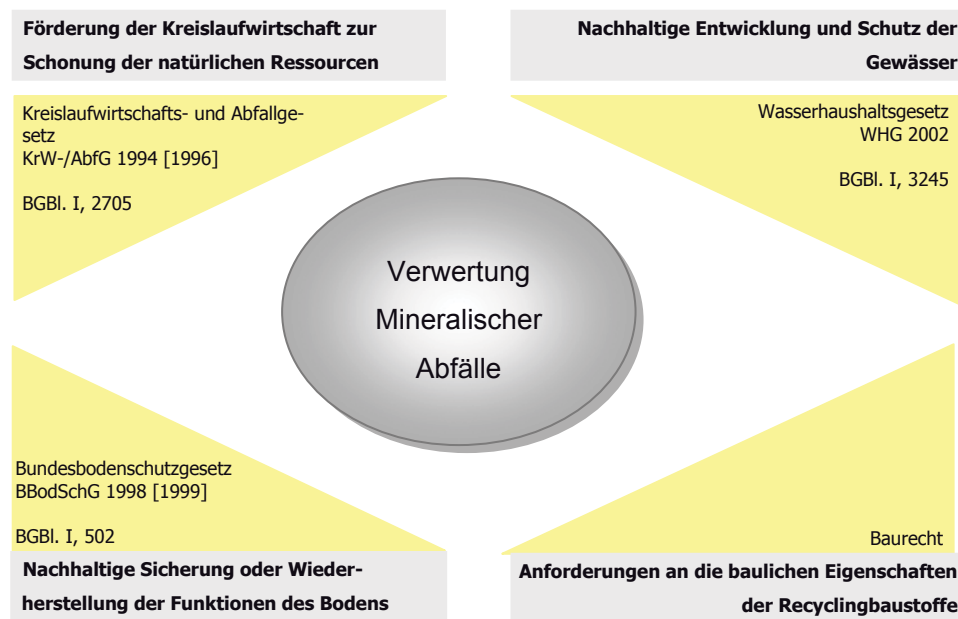


Abb. 9.10: Rechtlicher Rahmen für die Verwertung von Recyclingbaustoffen in grundwasserrelevanten Einsatzbereichen

- Die Anforderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG)

Das am 06.10.1996 in Kraft getretene KrW-/AbfG hat die „Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen und die Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen“ (§ 1 KrW-/AbfG) zum Zweck.

Nach § 4 (1) KrW-/AbfG sind Abfälle in erster Linie zu vermeiden, in zweiter Linie stofflich zu verwerten oder zur Gewinnung von Energie zu nutzen (energetische Verwertung) (vgl. Kap. 2.2, Abb. 2.4). Dabei beinhaltet die „stoffliche Verwertung“ die Substitution von Primärrohstoffen durch das Gewinnen von Stoffen aus Abfällen (sekundäre Rohstoffe).

In § 5 (3) KrW-/AbfG wird die ordnungsgemäße und schadlose Verwertung gefordert. Ordnungsgemäß heißt, die Verwertung steht im Einklang mit den Vorschriften des KrW-/AbfG und den anderen öffentlich-rechtlichen Vorschriften.

Eine schadlose Verwertung ist dann gegeben, wenn die Beschaffenheit und das Ausmaß der Verunreinigungen der Abfälle zu keinen Schadstoffanreicherungen im Wertstoffkreislauf führen.

In § 5 (4) ist festgelegt, dass „die Pflicht zur Verwertung von Abfällen (nur) einzuhalten ist, soweit dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist“. Daneben sind die ökologischen Grenzen der Verwertung zu beachten. Die umweltverträglichere Lösung der Entsorgung (Verwertung oder Beseitigung) hat Vorrang.

Die Termini „technisch möglich“ und „wirtschaftlich zumutbar“ bedeuten, dass Abfälle vor ihrer Verwertung ggf. vorzubehandeln sind und dass eine Nachfrage für den hergestellten RC-Baustoff bestehen muss.³⁶⁵

Die Praxis zeigt, dass die Nachfrage stark an den Preis und die Qualität des Sekundärbaustoffes gebunden ist. Übersteigt der Preis den des entsprechenden Primärstoffes, ist davon auszugehen, dass es keine Nachfrage für den RC-Baustoff gibt.

Die Anforderungen an die Verwertung und Deponierung sind für bestimmte Abfälle durch Verordnungen präzisiert (z. B. Elektronikschrottverordnung, Altfahrzeugverordnung, Bioabfallverordnung, Deponieverwertungsverordnung). Eine Verordnung für die Verwertung mineralischer Abfälle, für den größten Abfallmengenstrom in Deutschland (vgl. Abb. 9.3), existiert bisher nicht. Die Länder führen die Vorschriften des KrW-/AbfG in eigener Verantwortung aus. Das untergeordnete Regelwerk wird folglich länderspezifisch unterschiedlich ausgelegt, d. h. aufgrund der fehlenden Verwertungsverordnung auf Bundesebene treffen die Bundesländer eigene Vollzugsregeln für die Verwertung, die die Vorgaben des KrW-/AbfG und andere Gesetze berücksichtigen. Mit der nunmehr im Arbeitsentwurf vorliegenden Ersatzbaustoff-Verordnung sollen zukünftig die Rahmenbedingungen zur Verwertung mineralischer Bauabfälle bundeseinheitlich und nachhaltig gelöst werden. (Dies ist u. a. Bestandteil des Kap. 9.4.2)

Das untergesetzliche Regelwerk zum KrW-/AbfG ergänzt das KrW-/AbfG um³⁶⁶

- Abfallverzeichnis-Verordnung, AVV
(Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis)
 - Nachweisverordnung, NachwV
(Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen)
 - Transportgenehmigungsverordnung, TgV
(Verordnung zur Transportgenehmigung)
 - Entsorgungsfachbetriebeverordnung, EfbV
(Verordnung über Entsorgungsfachgebiete)
- und
- Entsorgungsgemeinschaftenrichtlinie, EgRL
(Richtlinie für die Tätigkeiten und Anerkennung von Entsorgungsgemeinschaften).

³⁶⁵ vgl. Speck, Vivien: Verwertung von mineralischen Abfällen – die Baustoffrecyclingindustrie zwischen Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit, Studienarbeit, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, 2006, S. 16 f.

³⁶⁶ www.bmu.de/abfallwirtschaft/downloads/doc/2726.php; aufgerufen am 08.02.2009

- Die Anforderungen des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) und der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)

Der Zweck des BBodSchG ist, die Funktionen des Bodens nachhaltig zu sichern oder wiederherzustellen (§ 1).

Werden RC-Baustoffe als bodenähnliches Material auf oder in Böden eingebracht, sind die Vorschriften dieses Gesetzes zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen zu berücksichtigen. Demzufolge sind schädliche Bodenveränderungen abzuwehren bzw. es sind vorsorgende Maßnahmen gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen (Gefahrenabwehr, Vorsorgepflicht).

Nach § 6 BBodSchG „wird die Bundesregierung ermächtigt, Anforderungen an das Auf- oder Einbringen von Materialien hinsichtlich der Schadstoffgehalte und sonstiger Eigenschaften [...] zu bestimmen“. In der BBodSchV (1999) wurden von der Bundesregierung entsprechende Anforderungen formuliert. Werden Schadstoffgehalte im Boden gemessen, die die Vorsorgewerte nach Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV überschreiten, oder besteht der Verdacht, dass eine Anreicherung von Schadstoffen erfolgt, die aufgrund ihrer Eigenschaften geeignet sind, schädliche Bodenveränderungen hervorzurufen, so ist dem entgegenzusteuern (s. § 8 BBodSchG).

Mit dem BBodSchG und der BBodSchV wird somit der Begriff der schadlosen Abfallverwertung, gefordert im KrW-/AbfG § 5 (3), für bodenähnliche Anwendungen konkretisiert.

- Die Anforderungen des Gewässerschutzes

Bei der Verwertung mineralischer Abfälle sind außerdem die Anforderungen aus dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG), zuletzt geändert am 1. Juni 2007, zu erfüllen. Das WHG dient dazu, den Schutz und die Bewirtschaftung resp. den haushälterischen Umgang mit der Ressource Wasser sicherzustellen. Daher ist „jedermann verpflichtet, bei Maßnahmen, mit denen Einwirkungen auf ein Gewässer verbunden sein können, die nach den Umständen erforderliche Sorgfalt anzuwenden, um eine Verunreinigung des Wassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften zu verhüten [...]“ (§ 1a (2) WHG, neu gefasst 2002, zuletzt geändert 2009). In diesem Sinne bedürfen Einbaumaßnahmen von RC-Baustoffen, von denen eine schädliche Veränderung der Beschaffenheit des Grundwassers hervorgerufen werden kann, der Zulassung. Daraus folgt, dass der Einsatz von RC-Baustoffen in bodenähnlichen Anwendungen durch wasserwirtschaftliche Anforderungen entweder nur eingeschränkt oder nicht möglich wird. Die wasserwirtschaftliche Verträglichkeit beim Einsatz von RC-Baustoffen wird in Kap. 9.4.2 umfassender thematisiert.

- Die Anforderungen des Baurechts

Die wesentlichen Anforderungen, die RC-Baustoffe neben ihrer Umweltverträglichkeit zu erfüllen haben, ergeben sich aus ihrem Zweck, mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand, sichere und ausreichend dauerhafte Bauwerke zu errichten, die den Anforderungen der Bauproduktionsrichtlinie³⁶⁷ entsprechen. Generell gilt für RC-Baustoffe das gleiche Anforderungsniveau wie für Primärbaustoffe. Dies findet auch in der DIN 18299³⁶⁸ ihren Niederschlag. Abschnitt 0.2.9 verlangt zunächst, dass in

³⁶⁷ Bauproduktenrichtlinie 89/106/EWG, Dezember 1988, ABl. EG Nr. L40, 12

³⁶⁸ DIN 18299: 2006-10 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art

der Leistungsbeschreibung anzugeben ist, ob RC-Baustoffe bei der Bauwerkerrichtung verwendet oder mitverwendet werden sollen. Nach Abschnitt 2.3.1 gelten wiederaufbereitete Stoffe als „ungebraucht“, wenn sie für den jeweiligen Verwendungszweck geeignet und aufeinander abgestimmt sind. Abschnitte 0.2.10 und 0.2.11 geben vor, dass die Anforderungen an die RC-Stoffe v. a. die besonderen Anforderungen an Art, Güte und Umweltverträglichkeit vom Auftraggeber zu formulieren sind. Gerade in diesem Zusammenhang werden häufig die im Abschnitt 0.2.12 enthaltenen Eignungs- und Gütenachweise verlangt.³⁶⁹

9.4 Anforderungen an die Verwertung mineralischer Bauabfälle und Darstellung des erreichten Standes

Um RC-Baustoffe schadlos und ordnungsgemäß zu verwerten (§ 5 (3) KrW-/AbfG) müssen sie grundsätzlich

- bautechnische Anforderungen:

Einhaltung stofflicher und technischer Eigenschaften entsprechend der Anwendung nach gültigen Regelwerken

und

- umweltverträgliche Anforderungen:

Einhaltung der umwelttechnischen Parameter resp. wasserwirtschaftlichen Gütemerkmale nach gültigen Regelwerken

erfüllen.

Der Erdbau stellt i. d. R. die geringsten technischen Anforderungen an die stoffliche Zusammensetzung von RC-Baustoffen, aber hohe Anforderungen hinsichtlich der Umweltverträglichkeit (Schutz des Bodens und Schutz des Grundwassers; vgl. Abb. 9.11). Umgekehrt ist dies der Fall für die Verwendung rezyklierter Gesteinskörnungen zur Betonherstellung. Hierbei sind hohe bautechnische Anforderungen zu erfüllen. Aufgrund der Einbindung der Rezyklate in den Beton ist praktisch eine Umweltschädigung ausgeschlossen.

Der Einsatz von RC-Baustoffen im Betonbau hat sich bisher jedoch noch nicht am Markt etabliert, wenn gleich ein klarer Erfolg zur Verwendung von Rezyklaten im Betonbau im Jahr 2004 verbuchbar ist (ca. 2,4 Mio. Tonnen Rezyklate wurden als Gesteinskörnung eingesetzt).

³⁶⁹ vgl. Englert, Klaus; Grauvogel, Josef; Katzenbach, Rolf: DIN 18299 Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art in: Verdingungsordnung für Bauleistungen Teil C, Beck'scher VOB-Kommentar, 2003, S. 192 f.

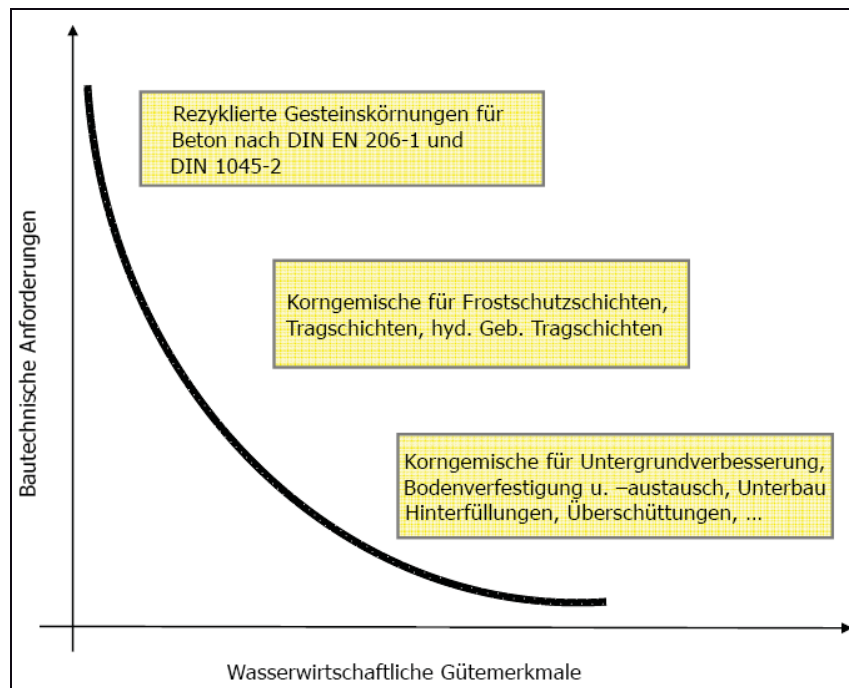


Abb. 9.11: „Inversion“ der Anforderung³⁷⁰

9.4.1 Bautechnische Anforderungen, Bewertung des anfallenden Bauschutts aus Plattenbauten

- Vorbemerkung

Mit der Aufbereitung wird das Ziel verfolgt, aus Bauabfall einen Sekundärrohstoff / RC-Baustoff resp. eine Gesteinskörnung mit definierter Korn- und Stoffzusammensetzung zu erzeugen.

Die Bauschutt-RC-Anlagentechnik ist v. a. darauf ausgerichtet, spezifische Korngrößen, den jeweiligen Anwendungsanforderungen angepasst, zu produzieren.

RC-Baustoffe werden durch Zerkleinerung, i. d. R. in Backen- und / oder Prallbrecher, mittels Separierung und Klassierung in Korngrößen abgestuft zu Gesteinskörnungen aufbereitet.

Die mechanischen Beanspruchungen auf das aufgegebene Material durch Druck oder Schlag und Prall ergeben zum einen unterschiedliche Korngrößenverteilungen und zum anderen unterschiedliche Kornformen.

Hauptsächlich werden im Straßenbau 0/45 mm Körnungen (mit 85 % stellen sie die häufigste Gesteinskörnung dar³⁷¹) für den Einsatz in den ungebundenen Schichten (z. B. Frostschuttschicht, Schottertragschicht; Tragschichten ohne Bindemittel (ToB)) nachgefragt. Für den Wegebau, den Landschafts- und Gartenbau werden Körnungen 0/32 mm bevorzugt aufgrund der geringeren Schichtdicken im Vergleich zum Straßenbau.³⁷²

³⁷⁰ Müller, Anette: Einsatz von Primär- und Sekundär-/Recyclingmaterial im Hochbau; Vortrag 1. Klausur Forschungsbericht des Umweltbundesamtes: „Steigerung von Akzeptanz und Einsatz mineralischer Sekundärrohstoffe“ am 22./23.05.2007 in Potsdam.

³⁷¹ Dehoust, Günter et. al.: Aufkommen, Qualität und Verbleib mineralischer Abfälle, Entwurf: Endbericht im Auftrag des UBA, November 2007, S. 87

³⁷² Kurkowski, Harald: Einsatz von Recycling-Baustoffen im Garten und Landschaftsbau; www.uni-weimar.de/Bauing/aufer/Professur/RC05/Vortrag%20Kurkowski%20RC05.pdf; aufgerufen am 03.02.2009

Der Verkehrsflächenbau ist seit über 20 Jahren mengenmäßig das stärkste Absatzgebiet für RC-Baustoffe. Die RC-Quote betrug in 2004 über 91 % (vgl. Kap. 9.2).

- Bautechnische Anforderungen

Für die Verwendung und Qualitätssicherung existiert ein Vorschriftensystem.

Seit Mitte der 1980er Jahre werden in den Gremien der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) Regelwerke für den Einsatz von Gesteinskörnungen im Straßenbau erarbeitet. Im Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau³⁷³ wurden Prüfungen für rezyklierte Zuschläge definiert und damit deren Einsatz forciert.

Die Regelwerke sind stetig den neuesten Erkenntnissen / steigenden Anforderungen angepasst worden und bilden heute die wesentlichen Voraussetzungen für den Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen in Tragschichten des Straßenbaus.

In den Richtlinien Recycling-Baustoffe, hrsg. von der Bundesvereinigung Recycling e. V., aufgestellt vom Arbeitsausschuss Technik und Umwelt der BRB³⁷⁴, sind Regelwerke und Normen für RC-Baustoffe aufgeführt (s. Tab. 9.1). Zwar ist die Anwendung dieser Richtlinie in den Bundesländern nicht zwingend, aber zur Steigerung der Akzeptanz von RC-Baustoffen bilden sie eine qualitative Grundlage.

Tab. 9.1: Produktgruppen mit Kurzbezeichnungen nach BRB-Richtlinien, Einsatzgebiete und bautechnische Anforderungen³⁷⁵

RC-Stra	RC-Wege*	RC-Depo*	RC-Asphalt	RC-Beton	RC-Erd*	RC-Vegtra*
Klassifizierter Straßenoberbau	Verkehrsflächen außerhalb des klassifizierten Straßenbaus	Deponiebau	Asphaltstraßenbau	Betonbau Betonwaren	Erdbau	Vegetationstechnische Anwendungen, etc.
TL Gestein-StB TL SoB-StB ZTV T-StB 95 Fassung 2000 TL Pflaster-StB	In enger Anlehnung an TL Gestein-StB / TL SoB-StB Arbeitsblatt DWA-A 904 Richtlinien für den ländlichen Wegebau	TA Siedlungsabfall TA Abfall DepVerwV	ZTV Asphalt – StB / ARS 9/2005 Merkblatt für die Verwertung von Asphaltgranulat (2000) TL AG-StB	DIN 1045/ EN 206-1 DIN EN 12620 / DIN 4226-100	ZTV E-StB	FLL-Richtlinien und Empfehlungen

Die mit * gekennzeichneten Produktgruppen müssen spezielle Anforderungen und Festlegungen zu Prüfungen im Rahmen der Fremdüberwachung erfüllen. Sie sind in den BRB-Richtlinien im Anhang B benannt.

³⁷³ Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau, Teil Wiederverwendung von Baustoffen, Köln, 1985

³⁷⁴ Bundesvereinigung Recycling-Baustoffe (BRB) e. V.: BRB Richtlinien Recycling-Baustoffe, Duisburg, März 2006

³⁷⁵ ebenda, S. 6; die aufgeführten bautechnischen Regelwerke sind im Literaturverzeichnis aufgeführt und gelten in der jeweils gültigen Fassung

Die zugelassenen Mengenanteile der stofflichen Komponenten und deren Qualität für straßenbautechnische Anwendungen sind durch die TL Gestein-StB 04³⁷⁶ vorgegeben. Für Straßenbaustoffe kommen RC-Baustoffe mit einem bestimmten Anforderungsprofil, hauptsächlich hinsichtlich der hohen Kornfestigkeit und Frostbeständigkeit, zum Einsatz.

Angepasst an die neuen technischen Regelwerke für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TL Gestein, TL SoB-StB³⁷⁷, ZTV SoB³⁷⁸) sind die jeweiligen länderspezifischen Regelungen / Erlässe bei der Verwertung von RC-Baustoffen im Straßenbau heranzuziehen, wie z. B.:

- im Freistaat Bayern:

ZTV wwG-StB By 05 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Technische Lieferbedingungen für die einzuhaltenden wasserwirtschaftlichen Gütemerkmale bei der Verwendung von RC-Baustoffen im Straßenbau in Bayern, Ausgabe 2005

- in Brandenburg:

BTR RC-StB 04 Brandenburgische Technische Richtlinien für die Verwertung von RC-Baustoffen im Straßenbau – Herstellung, Prüfung, Auslieferung und Einbau, Ausgabe 2004.

Ziegelsplitte können neben der bekannten Anwendung als Dachsubstrat³⁷⁹, aus bautechnischer Sicht (aufgrund ihrer inneren Porenstruktur und der dadurch erhöhten wasserspeichernden Eigenschaften) im Straßenbau nur für untergeordnete Zwecke verwendet werden wie bspw. für begrünbare Verkehrsflächen in oder als:³⁸⁰

- Schotterrasen,
- Tragschicht mit vegetationstechnischen Eigenschaften,
- Substrat für begrünte Fugen und Öffnungen in Pflaster- oder Plattenbelägen,
- Baums substrat.

Wesentlich schwieriger ist es, zu einer definierten Stoffzusammensetzung entsprechend der DIN 4226-100³⁸¹ zu kommen, um rezyklierte Gesteinskörnungen hochwertig resp. im Beton verwenden zu können. Die DIN 4226-100 legt zusätzlich zur DIN 4226-1 Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen mit einer Kornrohdichte $\geq 1\,500\text{ kg/m}^3$ für die Verwendung in Beton und Mörtel fest. Die DIN 4226-100 unterscheidet zwischen 4 Liefertypen für rezyklierte Gesteinskörnungen:

³⁷⁶ TL Gestein-StB 04 Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau, Ausgabe 2004

³⁷⁷ TL SoB-StB Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau

³⁷⁸ ZTV SoB zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemitteln im Straßenbau

³⁷⁹ Dachbegrünungsrichtlinie, Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen, hrsg. von Forschungsanstalt Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL), 2008

³⁸⁰ Kurkowski, Harald: Einsatz von Recycling-Baustoffen im Garten und Landschaftsbau; www.uni-weimar.de/Bauing/aufer/Professur/RC05/Vortrag%20Kurkowski%20RC05.pdf; aufgerufen am 03.02.2009

³⁸¹ DIN 4226-100: 2002-02 Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel, Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen

- Typ 1: Betonsplitt / Betonbrechsand
- Typ 2: Bauwerksplitt / Bauwerkbrechsand
- Typ 3: Mauerwerksplitt / Mauerwerkbrechsand
- Typ 4: Mischsplitt / Mischbrechsand

Je nach Liefertyp dürfen rezyklierte Gesteinskörnungen bestimmte Werte der stofflichen Zusammensetzung, Korndichte und Wasseraufnahme nicht über- bzw. unterschreiten (s. Tab. 9.2).

Tab. 9.2: Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100 [Tab. 1 und 2 zusammengefasst]

	DIN 4226-100: Rezyklierte Gesteinskörnungen			
	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
	Betonsplitt / Betonbrechsand	Bauwerksplitt / Bauwerkbrechsand	Mauerwerksplitt / Mauerwerkbrechsand	Mischsplitt / Mischbrechsand
Bestandteile	[Masse-%]			
Beton und Gesteinskörnungen nach DIN 4226-1*	≥ 90	≥ 70	≤ 20	≥ 80
Klinker, nicht porosierter Ziegel	≤ 10	≤ 30	≥ 80	
Kalksandstein			≤ 5	
Andere mineralische Beimengungen wie porosierter Ziegel, Leichtbeton, haufwerksporiger Beton, Putz, Mörtel, poröse Schlacken, Bimsstein	≤ 2	≤ 3	≤ 5	≤ 20
Asphalt	≤ 1	≤ 1	≤ 1	
Fremdbestandteile wie Glas, Keramik, NE-Metallschlacke, Stückgips, Gummi, Kunststoff, Metall, Holz, Pflanzenreste, Papier, Sonstiges	≤ 0,2	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 1
Kornrohichte in kg/m³	≥ 2000		≥ 1800	≥ 1500
Schwankungsbreite Kornrohichte in kg/m³	± 150			keine Anforderung
Max. Wasseraufnahme nach 10 min. Masseanteil in %	10	15	20	

* DIN 4226-1: 2001-07 Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel, normale und schwere Gesteinskörnungen

- Bewertung des anfallenden Bauschutts aus Plattenbauten mit Optionen zur Verbesserung der Sortenreinheit

Die Anforderungen, die an den Betongehalt für eine rezyklierte Gesteinskörnung nach Liefertyp 1 gestellt werden (≥ 90 M-% Betonsplitt), erfüllt nicht einmal in jedem Fall der Bauschutt aus Betonkonstruktionen, wie aus nachfolgend beispielhafter Untersuchung hervorgeht. Exemplarisch wird die ermittelte Menge der verbauten Baustoffe von einem Plattenbau P2 aufgezeigt:³⁸²

- Betonanteil 88 M.-%,
- andere mineralische Beimengungen (Schlackensand, Terrazzo, etc.) 7,4 M.-%,
- Fremdbestandteile (Gips, Glas, Stahl, Dämmstoffe, PVC) 4,6 M.-%.

Damit wird die o. a. Konsequenz untersetzt, dass bereits auf der Baustelle / Anfallstelle eine Getrennthaltung der Materialarten sichergestellt und im Zuge der Bauschuttaufbereitung, eine weitgehende Selektion der Materialarten nach Betonbruch, andere mineralische Beimengungen und Fremdstoffbestandteilen erfolgen muss, um die Anforderungen des Liefertyps 1 zu erfüllen.

In Bauschutt-RC-Anlagen übernehmen Sieb- und Sortieranlagen Sortierungsaufgaben. Bei ausreichenden Dichteunterschieden des Bauschutts, auch der mineralischen Komponenten, sind Sieb- und Sortierverfahren mit dem Medium Luft (Abtrennung leichter Fremd- / Störstoffe mit Dichten $< 300 \text{ kg/m}^3$) oder Wasser (Stofftrennung im Dichtebereich von 200 kg/m^3 bis 1.200 kg/m^3) im Einsatz. Aber längst nicht alle RC-Anlagen sind mit Sieb- und Sortieranlagen ausgestattet. Da sich die Rohstoffdichte der Bauschuttbestandteile in einem sehr engen Bereich bewegt, sind Wind- und Nasssiebungen nur bedingt geeignet, zufriedenstellende Trennerfolge zu erzielen.

Aus diesem Grund wurden von MUELLER³⁸³ Testreihen u. a. zur Trennung von Gemischen aus Beton und Ziegel mittels optoelektronischer Sortierung durchgeführt mit einem wesentlich besseren Trennergebnis als dies mit herkömmlichen Sortierverfahren erzielbar ist.

Obwohl mittlerweile optoelektronische Sortierverfahren (farbselektive Sortierung und Ausschleusung von Störstoffen) am Markt angeboten werden³⁸⁴, ist eine Markteinführung in Bauschutt-RC-Anlagen nicht festgestellt worden.

Bei einem krangleitenden Rückbau von Plattenbauten werden sortenreine Betonfertigteile zurückgewonnen, die, wenn sie keiner Wiederverwendung zugeführt werden, separat vorgebrochen und aufbereitet, die geforderte Qualität vom Liefertyp 1 uneingeschränkt erfüllen. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass gerade in den neuen Bundesländern – aufgrund der Wohnungsrückbaumaßnahmen von in Montagebauweise errichteten Bauten bzw. Plattenbauten – bei der Variante Teiltrückbau eine absolute Gleichmäßigkeit des Ausgangsmaterials vorhanden und damit die Voraussetzung

³⁸² Mettke, Angelika; Schuster, Cornelia; Zelöschke, Jens-Christian et. al.: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, FuE-Vorhaben im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Langfassung 1998, S. 74

³⁸³ Müller, Anette: Aufbereiten und Verwerten von Bauabfällen – aktueller Stand und Ausblick, Recyclingtagung, Weimar 2003: www.uni-weimar.de/Bauing/aufber/Professur/Veranstaltung.html; aufgerufen am 06.02.2009

³⁸⁴ vgl. www.mogensen.de/de/mineralsortierer.htm; aufgerufen am 08.02.2009

erfüllt ist, hochwertige Lieferkörnungen zu produzieren. (Die höchstwertige Recyclingart ist allerdings die, demontierte Betonfertigteile wieder als Bauelement zu verwenden).

Bei Betonabbruchmassen unterschiedlicher Herkunft hingegen können erhebliche Schwankungen hinsichtlich der Zusammensetzung auftreten. Bspw. kann Normalbeton- mit Leichtbeton- und Gasbetonbruch vermischt sein. Eine entsprechende Homogenisierung des Materials wird erforderlich, wenn der Liefertyp 1 oder 2 erzeugt werden soll.

9.4.2 Umwelttechnische Anforderungen an den Einsatz von RC-Baustoffen, Bewertung des Bauschutts aus Plattenbauten

Die für die Verwertung von RC-Baustoffen betreffenden Gesetze (vgl. Abb. 9.10) enthalten keine konkreten Vorgaben für den Vollzug. Um der Komplexität der Anforderungen zur Verwertung mineralischer Rezyklate zu entsprechen und auf untergesetzlicher Ebene fallspezifische, praktische Anforderungen zu formulieren, wurden von Fachgremien Vorschriften, Richtlinien, Verordnungen, Anleitungen und Erlasse zur Beurteilung der wasserwirtschaftlichen Verträglichkeit erarbeitet und verabschiedet.

Grundlage für die umweltgerechte Verwertung von RC-Baustoffen bilden bislang v. a. die Mitteilungen und Erarbeitungen der Bund / Länder-Arbeitsgemeinschaften Abfall (LAGA), Wasser (LAWA) und Boden (LABO). Einen besonderen Stellenwert nimmt die LAGA-Mitteilung M 20 „Technische Regeln über Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen“³⁸⁵ ein, die mineralische Abfälle nach den jeweiligen Stoffgehalten in Einbauklassen unterteilt und damit entweder den Verwertungs- oder den Deponierungspfad vorgibt.

In mehreren Bundesländern wird die LAGA M 20 als geeignete Bewertungsgrundlage zur schadlosen Verwertung mineralischer Abfälle zugrunde gelegt. Die Technischen Regeln LAGA M 20 sind erstmals 1994 mit M 20/1 und M 20/2 publiziert worden. Eine Fortschreibung erfolgte bis zum Jahr 2004, aber nicht in allen Teilen.

Soweit die LAGA-Mitteilung in den Bundesländern in den Vollzug übernommen wurden, bestimmen sich die Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfälle derzeit nach LAGA M 20: Allgemeiner Teil vom 06.11.2003³⁸⁶, TR Boden vom 05.11.2004³⁸⁷, Probennahme und Analytik vom 05.11.2004³⁸⁸ und für Bauschutt in technischen Bauwerken ggf. mit Einschränkungen vom 06.11.1997³⁸⁹. In der Definition technische Bauwerke ist der Hochbau hier nicht erfasst.

Mit der LAGA M 20 vom 6. Nov. 1997 wurden wichtige Anforderungen zur Verwertung mineralischer Abfälle (Boden, Straßenaufbruch, Bauschutt, MV-Asche, Gießereiabfälle)

- geltend für den Einsatz zu bautechnischen Zwecken

³⁸⁵ Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): LAGA-Mitteilung 20 – Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen / Abfällen – Technische Regeln, 1998, ISBN 3503 05011 6; 2004, ISBN 3503 06395 1

³⁸⁶ Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): LAGA-Mitteilung 20 – Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln – Allgemeiner Teil vom 06.11.2003

³⁸⁷ Länder-Arbeitsgemeinschaft (LAGA): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II: Technische Regeln für die Verwertung 1.2 Bodenmaterial (TR Boden) vom 05.11.2004 (nicht als Mitteilung veröffentlicht)

³⁸⁸ Länder-Arbeitsgemeinschaft (LAGA): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil III Probennahme und Analytik vom 05.11.2004 (nicht als Mitteilung veröffentlicht)

³⁸⁹ Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): LAGA-Mitteilung 20 - Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen - Technische Regeln, Stand: 06.11.1997

- angewendet auch für Verfüllmaßnahmen

festgelegt, die aber nach heutiger Rechtslage als Bewertungsmaßstab ungeeignet sind.

Die rechtlichen Entwicklungen nach 1997 beinhalten neuere Vorgaben zum vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz gemäß dem BBodSchG von 1998 und der BBodSchV von 1999. Aufgrund der neuen rechtlichen Regelungen und Anforderungen zum Bodenschutz sowie neuer Vorgaben zum Schutz des Grundwassers (GW), bedurfte die LAGA M 20 von 1997 einer Überarbeitung. Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) hat mit den „Grundsätzen des vorsorgenden Grundwasserschutzes bei Abfallverwertung und Produkteinsatz“ (GAP) vom Mai 2002 und der „Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser“ (GFS) vom Dez. 2004 weitergehende Grundlagen zur Erarbeitung von Regelungen für den Vollzug erarbeitet.

Geringfügigkeitsschwellen gelten als Maßstab, bis zu welchen Schadstoffkonzentrationen anthropogene, räumlich begrenzte Änderungen der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers als geringfügig einzustufen sind und ab welcher Konzentration eine Grundwasserverunreinigung (= Grundwasserschaden) vorliegt.³⁹⁰

Die neuen wasser- und bodenschutzrechtlichen Anforderungen führten – wie o. a. – zur Überarbeitung der LAGA M 20 in (sog. „neue“ LAGA)³⁹¹:

- Teil I Allgemeiner Teil (Stand 6. Nov. 2003)
- Teil II Abfallspezifische Anforderungen, Technische Regeln Boden (TR Boden) (Stand 5. Nov. 2004)
- Teil III Probennahme und Analytik (Stand 6. Nov. 2004)

mit z. T. strengeren Zuordnungswerten und erweitertem Parameterumfang im Vergleich zur „alten“ LAGA M 20.

Teil I, der unabhängig vom jeweiligen Abfall die übergreifenden Grundsätze und allgemeingültigen Rahmenbedingungen (u. a. an Bauweisen, Einbaubedingungen, Ausschlussgebiete) für die schadlose Verwertung beschreibt, ist mit Beschluss der 32. Amtscheffkonferenz (ACK) am 6. Nov. 2003 verabschiedet worden.

Teil II gibt konkrete Festlegungen für die Untersuchung und Bewertung der jeweiligen Abfälle vor inkl. der Anforderungen zum Einbau (Zuordnungswerte, Einbaubedingungen). Der spezielle Teil II „Technische Regeln für die Verwertung, Kap. 1.2 Bodenmaterial“ regelt grundsätzlich die Verwertung von Bodenmaterial, das als Abfall anfällt. Für Böden mit regional spezifischen geogenen Vorbelastungen sind Ausnahmen im Einzelfall und generell denkbar. Das gilt v. a. für die Parameter Chlorid und Sulfat im Eluat sowie für den gesamten organischen Kohlenstoff (TOC; engl.: total organic carbon).

Der Teil III legt die Verfahren zur Probennahme, -aufbereitung und Analytik fest mit ergänzenden Vorgaben für die jeweiligen Abfallarten.

³⁹⁰ vgl. (LAWA): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, 2004, S. 5; www.lawa.de/pup/download.html; aufgerufen am 05.05.2008

³⁹¹ vgl. Bertram, Heinz-Ulrich: Aktueller Stand der Überarbeitung der LAGA Mitteilung 20, Hannover, 6. Nov. 2003; www.laga-online.de/laganeu/images/stories/pdfdoc/allgemein/vortrag_bertram.pdf; aufgerufen am 09.02.2009

Die Anwendung der Teile II und III wird in den Ländern unterschiedlich gehandhabt.

Vor dem Hintergrund der Verschärfung der Zuordnungswerte für RC-Baustoffe und der damit vehementen Einschränkungen der bisherigen gängigen Verwertungspfade sowie der Konflikte zwischen BBodSchG, BBodSchV, den LAWA-Papieren (GAP, GFS) (Vorsorgeaspekte für Boden und Grundwasser) und dem KrW-/AbfG (Förderung der Kreislaufwirtschaft, Schonung natürlicher Ressourcen) bzw. zwischen der LAGA und der Wirtschaft führte zur Auflösung der Bund- Länder AG im Rahmen der LAGA „Vereinheitlichung der Untersuchung und Bewertung von mineralischen Abfällen“.³⁹² Damit wurde die Fortschreibung der Mitteilung LAGA M 20 eingestellt.

Durch das sog. „Tongrubenurteil Tagebau Fortuna“ des Bundesverwaltungsgerichtes vom 14.04.2005 wurde deutlich, dass die LAGA M 20, auch in der überarbeiteten Fassung („neue“ LAGA), keine Rechtssicherheit bietet. Die Stellungnahme zu der Frage, welche Anforderungen an die Schadlosigkeit bei der Verwertung von Materialien zur Verfüllung eines Bodenabbaus zu stellen sind, ergab für die LAGA M 20:³⁹³

- ist (nur) eine technische Regel bzw. eine Empfehlung eines sachkundigen Gremiums,
- ist keine normkonkretisierende Verwaltungsvorschrift,
- hat keine verbindliche Wirkung,
- ist zudem nicht mit dem BBodSchG kompatibel.

Diese Situation führte dazu, dass mit Beschluss der Umweltministerkonferenz das Bundesumweltministerium aufgefordert wurde, die Bundesbodenschutzverordnung für die schadlose Verwertung mineralischer Abfälle auszuarbeiten. Eine Harmonisierung der länderspezifischen Regelungen in landeseinheitliche Vorgaben ist unerlässlich, um Rechtssicherheit zu erhalten, Wettbewerbsverzerrungen auszuschließen und für Wirtschaft und Verwaltung / Behörden administrative Erleichterungen zu schaffen. Mit der Ersatzbaustoffverordnung³⁹⁴ sollen die Umweltaanforderungen an den Einbau in technischen Bauwerken und die Verfüllung (bodenähnliche Anwendungen) von mineralischen Abfällen, Neben- und Recyclingprodukten bundeseinheitlich rechtsverbindlich geregelt werden.

Der Arbeitsentwurf der Verwertungsverordnung vom 13.11.2007 ist eine Artikelverordnung. Die Artikelverordnung gliedert sich in zwei Teile: Artikel 1 regelt den ordnungsgemäßen und schadlosen Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen – insbesondere zum Schutz des Bodens und des Grundwassers - welche ungebunden oder gebunden in technischen Bauwerken (Straßen, Wege, Leitungsgräben, Lärm- und Sichtschutzwälle, Gebäude, in direktem Kontakt mit dem Boden) verwertet werden. Artikel 2 ergänzt die Bundes-Bodenschutzverordnung und regelt die „Anforderungen an das Auf- und Einbringen von Material auf oder in die durchwurzelbare Bodenschicht“. Damit werden bodenähnliche Verwertungen, u. a. die Anforderungen, die an Verfüllungen von Abgrabungen gestellt werden, geregelt.

³⁹² vgl. Jahresbericht der Bund-/ Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 2004, S. 6 f.

³⁹³ vgl. Notter, Harald: Konsequenzen aus dem „Tongrubenurteil“, PP-Präsentation;

www.bmu.de/files/abfallwirtschaft/downloads/application/pdf/abfw_workshop_notter.pdf; aufgerufen am 02.01.2009

³⁹⁴ Der Gesamtentwurf lautet: „Verordnung zur Regelung des Einbaus von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken und zur Änderung der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung“.

Umfangreiche Stellungnahmen von der Fachwelt zum Arbeitsentwurf der Ersatzbaustoffverordnung liegen dem BMU vor. Es gibt in vielen Punkten Konsens, aber auch konträre Bewertungen (so z. B. zur Eluatherstellung nach neue Untersuchungsverfahren gemäß DIN 19528 (Säuleneluat) anstelle des genormten Schüttelverfahrens nach DIN 38414 Teil 4 (DEV-S4), zum GFS-Konzept – also zur Analytik, zur Dauer der Untersuchung, zu den höheren Laborkosten, des weiteren zur Güteüberwachung, zur Reflektierung der geogenen Hintergrundbelastungen etc.). Deshalb wird die Artikelverordnung derzeit in Teilen überarbeitet.

Bis diese Verordnung vorliegt, ist es jedoch geboten, sich an den Eckpunkten der LAGA M 20³⁹⁵ zu orientieren unter Beachtung der abweichenden / spezifischen Vorgaben der Länder. D. h. die länderspezifischen Regelungen zur Verwertung von mineralischen Abfällen sind zugrunde zu legen.

In Bayern, Baden-Württemberg, im Saarland und in Sachsen wurden eigene Regelungen per Erlasse aufgestellt. In Nordrhein-Westfalen wurde eine Branchenvereinigung zwischen Landesumweltministerium und den beteiligten Branchenverbänden geschlossen.³⁹⁶ Die anderen 11 Bundesländer orientieren sich an die LAGA-Vorgaben.

Die LAGA-Mitteilung M 20 definiert für die Verwertung drei Einbauklassen mit Zuordnungswerten (s. Abb. 9.12).

Unter einer Einbauklasse (EK) wird ein Bereich verstanden, in dem mineralische Abfälle nach einheitlichen Kriterien eingebaut werden können. Die Zuordnungswerte Z0 bis Z2 geben die zulässige Schadstoffkonzentration im Eluat und den zulässigen Schadstoffgehalt im Feststoff für die jeweilige Einbauklasse an.³⁹⁷

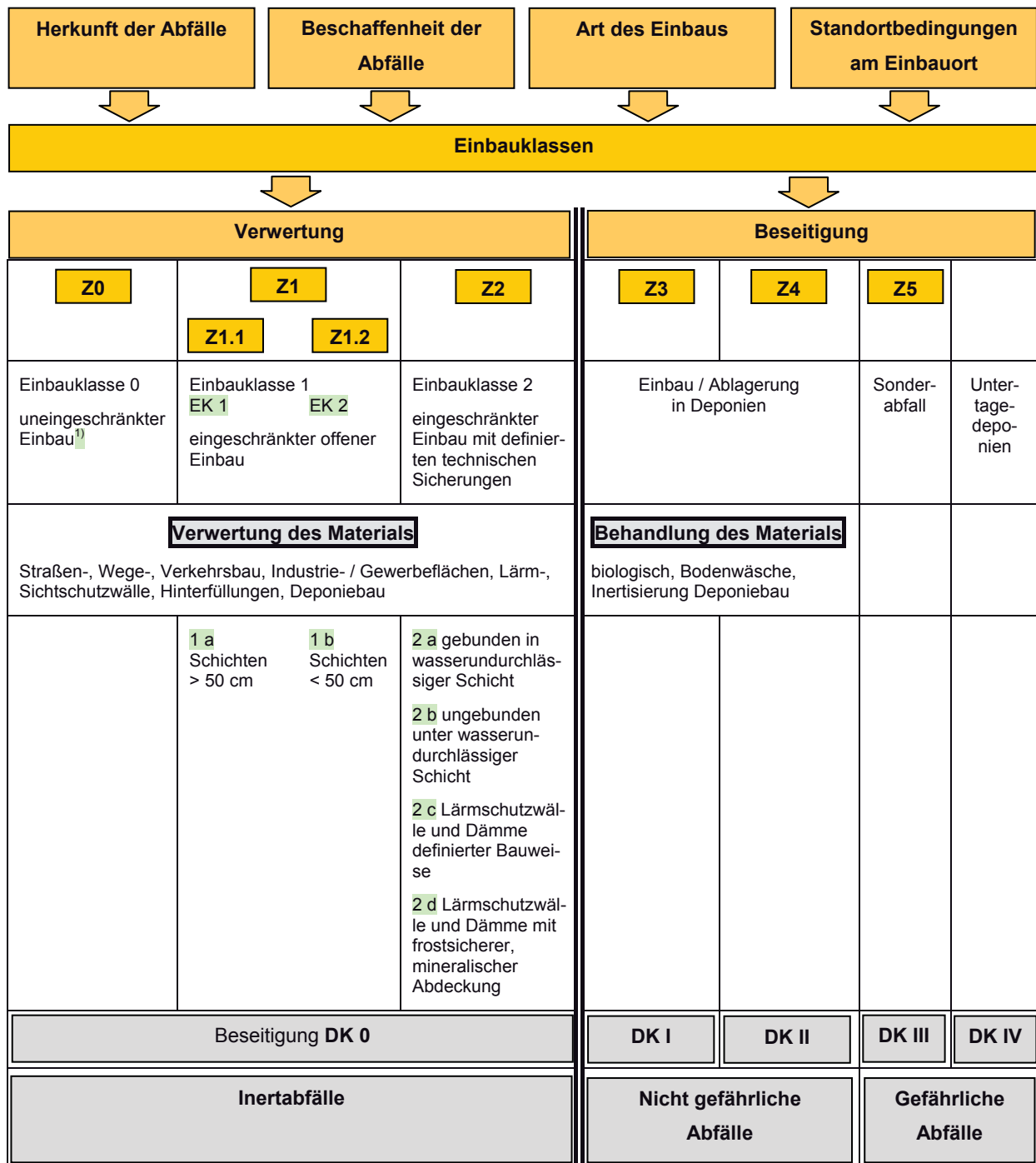
Die Verwertungsmöglichkeit hängt zudem von den Standortbedingungen am Einbauort in Form von Mindestabständen zum Grundwasserstand und von Durchlässigkeitsgrenzwerten des anstehenden Bodens ab.

Im Eckpunkte-Papier werden nur noch 2 Einbauklassen unterschieden. Die Einbauklasse 0 wird als Sonderfall ausgewiesen (s. Abb. 9.12). Einzelheiten der EK 0 bestimmt die TR Boden von 2004.

³⁹⁵ LAGA-Mitteilungen M 20 und Eckpunkte-Papier der LAGA für eine „Verordnung über die Verwertung von mineralischen Abfällen in technischen Bauwerken“ vom 31.08.2004

³⁹⁶ vgl. Frisch, Klaus-Ruthard: Aufbereitung und Verwertung von mineralischen Bauabfällen, in: Abbrucharbeiten, Hrsg. Lippok, Jürgen; Korth, Dietrich, 2007, S. 441

³⁹⁷ LAGA M 20, 2003, S. 8 f.



¹⁾ Diese Einbauklasse gilt nur für die Verwertung in bodenähnlichen Anwendungen (Verfüllung von Abgrabungen und Abfallverwertung im Landschaftsbau außerhalb von Bauwerken)

DK Deponieklasse gemäß [DepVerwV 2005]

Z Zuordnungswert (Obergrenze der Einbauklasse)

■ Unterteilung / Einschränkungen nach LAGA-Eckpunkte-Papier

Abb. 9.12: Darstellung der Einbauklassen mineralischer Abfälle nach LAGA M 20 ergänzt um das Eckpunkte-Papier der LAGA³⁹⁸

³⁹⁸ erweitert nach Frisch, Klaus-Ruthard: Aufbereitung und Verwertung von mineralischen Bauabfällen, in: Abbrucharbeiten, Hrsg. Lippok, Jürgen; Korth, Dietrich, 2007, S. 442; LAGA M 20, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln -, Allgemeiner Teil vom 06.11.2003, S. 14; veröffentlicht unter www.laga-online.de

Die Zuordnungswerte werden wie folgt definiert:

- Einbauklasse 0 / Z0: uneingeschränkter offener Einbau

Ein uneingeschränkter offener Einbau ist zulässig, wenn die Schadstoffkonzentrationen / -gehalte mit dem regional anstehenden natürlichen Boden / Gestein vergleichbar sind. Außerhalb von technischen Bauwerken ist ausschließlich Bodenaushubmaterial der Einbauklasse 0 zu verwenden.

Weist das Bodenmaterial höhere Schadstoffgehalte im Feststoff aus, kann es außerhalb von wasserwirtschaftlichen Schutzgebieten dennoch verwertet werden, wenn³⁹⁹

- die Feststoffgehalte und Eluatkonzentrationen der Schadstoffe Z0* der TR Boden eingehalten werden und
- das Bodenmaterial mit einer mindestens 2 m dicken Schicht aus Bodenmaterial abgedeckt wird, die die Vorsorgewerte der BBodSchV einhält.

- Einbauklasse 1: eingeschränkter offener Einbau

Die mineralischen Abfälle können in technischen Bauwerken in wasserundurchlässiger Bauweise eingebaut werden. Maßgebend für die Anforderungen an die Verwertung sind die Eluatkonzentrationen. Die Feststoffe werden nur beim Einbau in offenen Kreisläufen (Kaskaden: z. B. mineralischer Abfall → Gesteinskörnung für Beton → Beton → Bauwerksbestandteil → Bauschutt → RC-Baustoff; eine großräumige Verteilung der im Abfall enthaltenen Schadstoffe kann nicht ausgeschlossen werden⁴⁰⁰) hingezogen.

Die Einbauklasse 1 unterscheidet, ob für die Verwertung ungünstige (Einbauklasse 1.1 mit Z1.1) oder günstige⁴⁰¹ hydrogeologische Standortbedingungen (Einbauklasse 1.2 mit Z1.2) vorliegen.

Beim Einbau von mineralischen Abfällen in die Einbauklasse 1.2 soll der Abstand zwischen dem höchsten zu erwartenden Grundwasserstand und der Schüttkörperbasis mindestens 2 m betragen. Abb. 9.13 gibt einen Überblick über die möglichen Verwertungsfelder des eingeschränkten offenen Einbaus. Die Einschränkungen geben Gebiete an, in denen die Abfälle nicht eingesetzt werden dürfen bei Überschreitung von Z1.1.

³⁹⁹ LAGA M 20 Allgemeiner Teil (Überarbeitung) vom 06.11.2003, S. 17

⁴⁰⁰ LAGA M 20 Allgemeiner Teil (Überarbeitung) vom 06.11.2003, S. 11; in geschlossenen Kreisläufen wird weitgehend eine Schadstoffanreicherung ausgeschlossen z. B. mineralischer Abfall → Zuschlag für Asphalt → Straßenbestandteil → Asphalt-aufbruch → Zuschlag für Asphalt

⁴⁰¹ Als hydrologisch günstig gelten u. a. Standorte, bei denen der Grundwasserleiter nach oben durch eine flächig verbreitete, ausreichend mächtige Deckschicht mit hohem Rückhaltevermögen (mindestens 2 m dicke Schichten aus Ton, Schluff oder Lehm) gegenüber Schadstoffen überdeckt ist [LAGA M 20, 2003, S. 193]

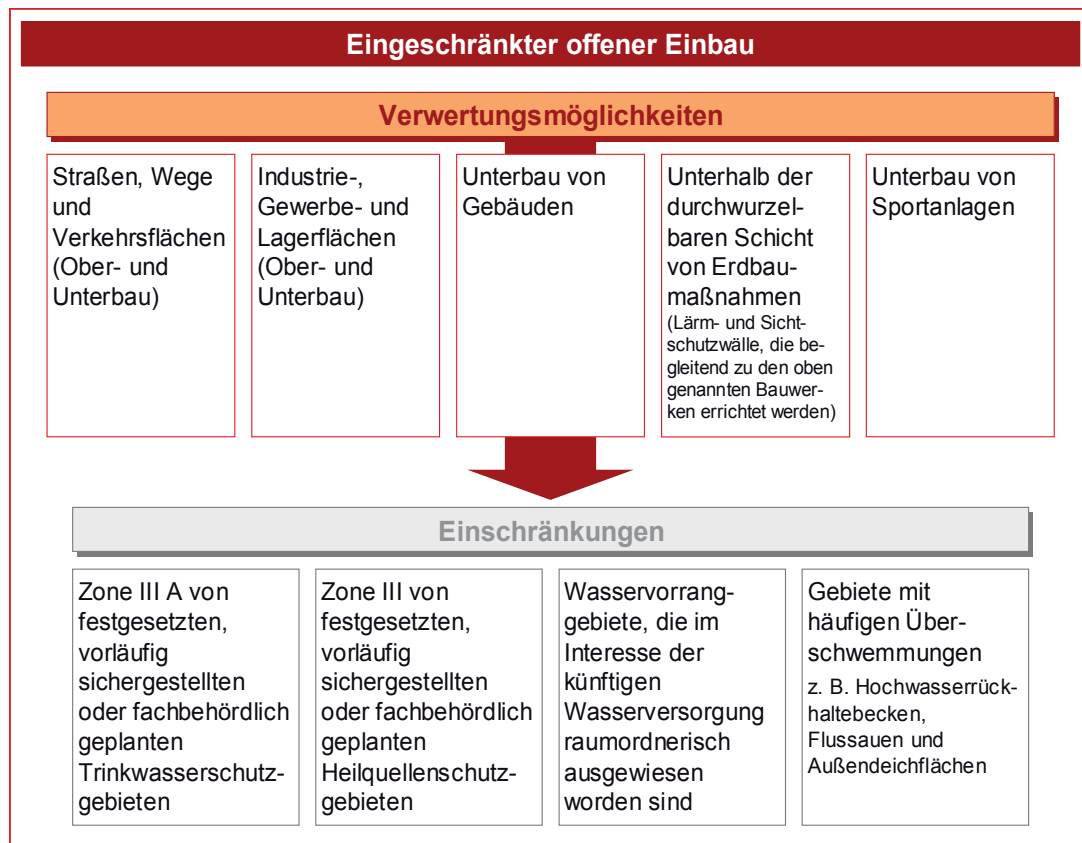


Abb. 9.13: Verwertungsmöglichkeiten mineralischer Abfälle für den eingeschränkten offenen Einbau nach LAGA M 20 für Z1.1⁴⁰²

- Einbauklasse 2: eingeschränkter Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen

Die zusätzlichen technischen Sicherungsmaßnahmen sollen den Schadstofftransport in den Untergrund und in das Grundwasser verhindern. Der Abstand zwischen Schüttkörperbasis und dem höchsten zu erwartenden Grundwasserstand soll mindestens 1 m betragen.

Abb. 9.14 zeigt Verwertungsmöglichkeiten für die Einbauklasse 2 auf. Für die unter Einschränkungen genannten Gebiete gilt, dass der mit Z2 eingestufte Abfall nur in den wasserundurchlässigen Bauweisen des Straßenbaus möglich ist. Nicht zulässig ist der Einbau dieser Einbauklasse:

- in Gebieten mit häufigen Überschwemmungen
- in Karstgebieten ohne ausreichende Deckschichten
- in Dränschichten,
- zur Verfüllung von Leitungsgräben.

⁴⁰² Speck, Vivien: Verwertung von mineralischen Abfällen – Die Baustoffrecyclingindustrie zwischen Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit, Studienarbeit, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, 2006, S. 32

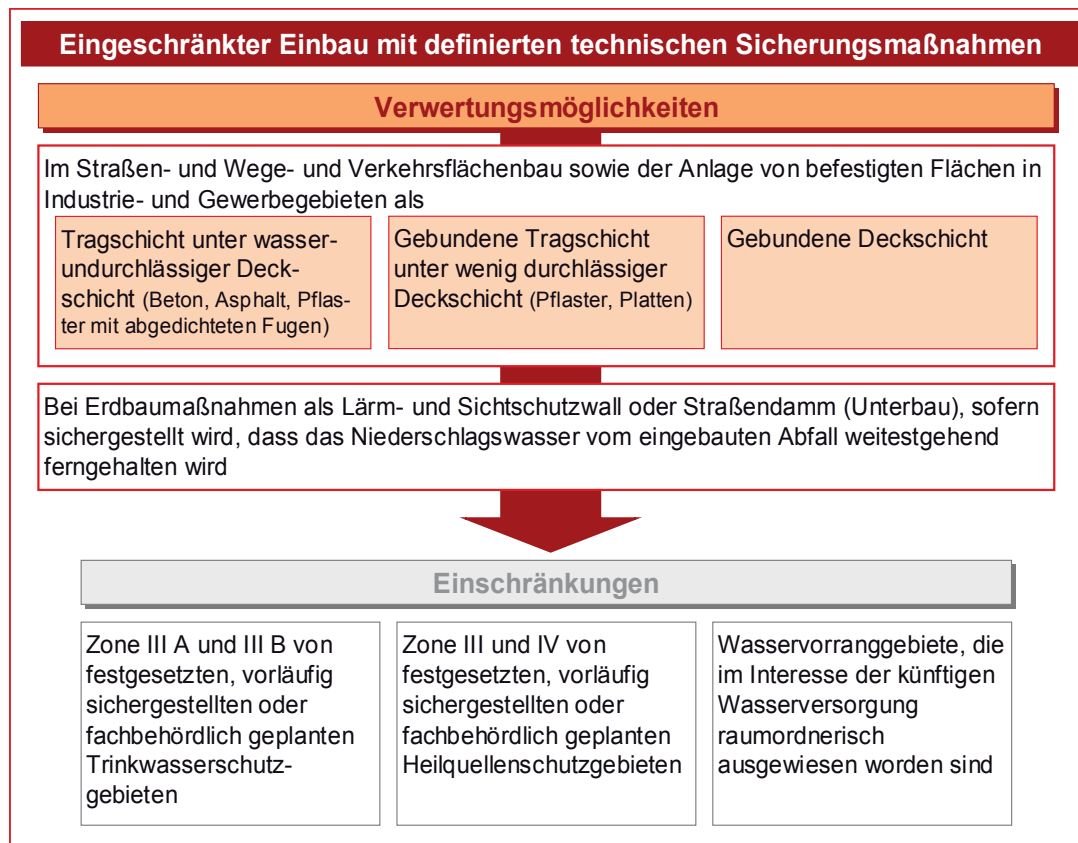


Abb. 9.14: Verwertungsmöglichkeiten mineralischer Abfälle für den eingeschränkten Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen nach LAGA M 20 für Z2⁴⁰³

Das Eckpunkte-Papier der LAGA⁴⁰⁴ gilt als Vorschlag für eine bundeseinheitliche Verwertungsverordnung für mineralische Abfälle; angepasst an das geltende Recht bzw. verknüpft mit geltenden Rechtsnormen. Der Vorschlag ist in 14 Eckpunkte (EP) untergliedert. Nachstehend wird nur auf ausgewählte EP stichpunktartig hingewiesen.⁴⁰⁵

EP 1: Anwendungsbereich

Bewertung zur schadlosen Verwertung mineralischer Abfälle, die

- ungebunden oder gebunden in technischen Bauwerken (Straßen-, Wege-, Verkehrsflächenbau) eingebaut werden,
- in Bauprodukten verwendet werden.

EP 3: Grundsätzliche Anforderungen

- Vermischungsverbot
- Verdünnungsverbot
- Maßnahmen bei Überschreitung der Zuordnungswerte

⁴⁰³ Speck, Vivien: Verwertung von mineralischen Abfällen – Die Baustoffrecyclingindustrie zwischen Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit, Studienarbeit, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, 2006, S. 34

⁴⁰⁴ Eckpunkte (EP) der LAGA für eine „Verordnung über die Verwertung von mineralischen Abfällen in technischen Bauwerken“ vom 31.08.2004

⁴⁰⁵ vgl. Bertram, Heinz-Ulrich: Die LAGA-Eckpunkte für eine Verordnung über die Verwertung von mineralischen Abfällen, PP-Präsentation anlässlich des BMU-Workshops „Anforderungen an die ordnungsgemäße und schadlose Verwertung mineralischer Abfälle“, Bonn, 13./14.02.2006

▪ EP 4: Anforderungen an den Einbau

Die Anforderung an den Einbau von mineralischen Abfällen in technischen Bauwerken ergeben sich aus:

- den stofflichen Eigenschaften,
- der Wasserdurchlässigkeit und Schichtdicke der Bauweisen (s. Abb. 9.12) und
- den Standorteigenschaften im Bereich der Baumaßnahme.

Hier gilt das Konzept der Einbauklassen und Zuordnungswerte entsprechend der LAGA M 20, jedoch mit Änderungen bezüglich der Einbauparameter und der Unterteilungen. Die Einbauklasse 1 (eingeschränkter offener Einbau) unterteilt sich in die Unterklasse 1a (dünne Schichten) und 1b (dicke Schichten). Die Einbauklasse 2 (Einbau mit technischen Sicherungsmaßnahmen) unterscheidet in 4 Unterklassen von 2a bis 2d (s. Abb. 9.12).

EP 5: Besondere Anforderungen an den Einbau in der Einbauklasse 2

- Grundwasserabstand zur Schützkörperbasis mindestens 1 m
- Einbau in kontrollierten Großbaumaßnahmen
- keine häufigen Aufbrüche.

EP 6: Anforderungen an die Verwertung in Bauprodukten

Beim Einsatz von Abfällen in (Bau-)produkten gelten spezifische Feststoff- und Eluatgrenzwerte.

Die weiteren EP legen die Anforderungen an die Untersuchung des Abfalls, Qualitätssicherung und Dokumentation ähnlich der LAGA M 20 fest.⁴⁰⁶

Für die Verwertung von Bodenmaterial wird im EP-Papier eine „Verordnung über die Verwertung von Bodenmaterial in bodenähnlichen Anwendungen“ vorgeschlagen. Hierzu wird zwischen der Verwertung von Bodenmaterial im Landschaftsbau außerhalb von technischen Bauwerken und der Verfüllung von Abgrabungen unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht unterschieden. Darauf wird jedoch nicht weiter eingegangen.

SPECK⁴⁰⁷ stellte die verschiedenen zur Anwendung kommenden Regelungen der Länder hinsichtlich der Grenzwerte / Zuordnungswerte bzw. die sich daraus ergebenden Verwertungsmöglichkeiten gegenüber. Bestandteil der Gegenüberstellung bildeten die Grenzwerte für RC-Baustoffe folgender Verwertungsregelungen:

- LAGA M 20: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen, 1997 → Z1.1; Z1.2; Z2 [LAGA M 20]
- LAGA: Eckpunkte für die Verwertung von mineralischen Abfällen in technischen Bauwerken, 2004 → RC-1; RC-2; RC-3 [LAGA EP]
- Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg: Vorläufige Hinweise zum Einsatz von Baustoffrecyclingmaterial, 2004 → Z1.1, Z1.2, Z2 [Ba-Wü]

⁴⁰⁶ Detaillierte Ausführungen sind dem Eckpunkte-Papier der LAGA, 2004, S. 5 ff. entnehmbar; vgl. LAGA M 20, 2003, S. 36

⁴⁰⁷ Speck, Vivien: Verwertung von mineralischen Abfällen – Die Baustoffrecyclingindustrie zwischen Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit, Studienarbeit, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, 2006, S. 94 ff.

- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz: Anforderungen an die Verwertung von Recycling-Baustoffen in technischen Bauwerken (RC-Leitfaden), 2005 → RW1; RW2 [Bay]
- Nordrhein-Westfalen: Güteüberwachung von mineralischen Stoffen im Straßen- und Erdbau, 2001 → RCL I; RCI II [NRW]
- Brandenburgische Technische Richtlinien für die Wiederverwertung von Baustoffen im Straßenbau (BTR RC-StB 04), 2004 → Z1.1; Z1.2; Z2 (identisch mit LAGA M 20) [Bb]

Anhand der LAGA M 20 untergliederten Einbauklassen erfolgt die Einordnung der unterschiedlichen Klassifizierungen der betrachteten o. a. Regelungen in Abb. 9.15.


Regelwerke	Verwertung		
LAGA M 20(1997)	Z1.1	Z1.2	Z2
TL Gestein-StB 04	RC-1	RC-2	RC-3
LAGA EP (2004)	RC1	RC2	RC3
VH Ba-Wü (2004)	Z1.1	Z1.2	Z2
Bay RC-L (2005)	RW1		RW2
GrdErl. NRW (2001)			RCL II

Abb. 9.15: Zuordnung der Qualitätsklassen verschiedener länderspezifischer Regelungen anhand der LAGA M 20

In Tab. 9.4 sind die in verschiedenen Regelwerken geforderten Zuordnungswerte / Grenzwerte für bestimmte Einbauklassen zusammengefasst. Deutlich wird, dass aufgrund der unterschiedlichen Bezeichnungen ein Vergleich nicht ohne weiteres möglich ist. Abb. 9.15 kann deshalb nur als Orientierung dienen. Es wird darauf hingewiesen, dass bei der Gegenüberstellung der Regelwerke nicht alle Parameter aufgenommen sind, sondern nur jene, für die in fast allen betrachteten Regelungen Zuordnungs- / Grenzwerte angeführt werden. Über die in Tab. 9.4 gegenübergestellten Zuordnungs- / Grenzwerte verschiedener Regelwerke hinausgehend sind vergleichsweise ergänzend die Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS)⁴⁰⁸, die Anforderungen aus der Trinkwasserverordnung (TrinkwV)⁴⁰⁹, der im Entwurf vorliegenden Ersatzbaustoffverordnung (ErsatzbaustoffV – E)⁴¹⁰ und der Deponieklasse 0 aus der Deponieverordnung⁴¹¹ aufgeführt.

⁴⁰⁸ LAWA: Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser, 2004, S. 25

⁴⁰⁹ Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001), BGBl. I S. 959, geändert 31. Okt. 2006, BGBl. I S. 2407

⁴¹⁰ Arbeitsentwurf „Verordnung zur Regelung des Einbaus von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken und zur Änderung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, Stand 13.11.2007, Artikel 1 „Verordnung über den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken (Ersatzbaustoff-Verordnung – ErsatzbaustoffV)

⁴¹¹ Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 24. Juli 2002, BGBl. I S. 2807, zuletzt geändert 13. Dez. 2006, BGBl. I S. 2860, Anhang 3 Zuordnungskriterien für Deponien der Klassen 0, III und IV in anderen Gesteinen als Salzgestein

Aus der Gegenüberstellung der Zuordnungswerte in Tab. 9.4 ergeben sich mehrere Schlüsse. Die Anforderungen an die Verwertung von mineralischen Abfällen aus umweltverträglicher Sicht sind von Bundesland zu Bundesland sehr unterschiedlich. Insofern gestaltet sich die Nachweisführung in ihrem Umfang und der Häufigkeit der durchgeführten Analysen länderspezifisch, d. h. auch unterschiedlich. Im Extremfall kann aufgrund der Überschreitung eines Parameters der mineralische Abfall von einer Verwertung ausgeschlossen werden, welcher im benachbarten Bundesland gar nicht überprüft wird.

Bei der Betrachtung der Zuordnungs- / Grenzwerte der länderspezifischen Regelungen und der LAGA M 20 sowie EP fällt auf, dass das LAGA EP strenge Eluatwerte für Kupfer, Zink und Chlorid vorgibt. Restriktiv gehandhabt werden auch die zulässigen Feststoffwerte der RW 2 für PAK im Freistaat Bayern im Vergleich zu den anderen, hier aufgeführten Anforderungen zur Verwertung.

Die Grenzwerte der TrinkwV sind bspw. für Chlorid und Kupfer durchweg höher zulässig als in allen aufgezeigten Verwertungsregeln bis zu Z1.2. Der Vergleich der geforderten Zuordnungs- / Grenzwerte für Kupfer und Nickel der TrinkwV mit GFS zeigt, dass das Trinkwasser höher belastet sein kann. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass die direkte Anwendung der GFS für die Verwertung von mineralischen Abfällen nicht vorgesehen ist.

Die für die DK 0 angegebenen Werte bspw. für Sulfat und Chlorid, Nickel, Chrom und Blei liegen unter dem Bereich Z1.2 nach LAGA M 20 zur Verwertung. Das führt zu der Situation, dass Abfälle zur Verwertung bis Z1 ohne besondere Anforderungen eingebaut werden können hingegen auf der Deponie (DK 0) nur eine Ablagerung bei gesicherter Deponiebasisabdichtung (geologische Barriere) in einer Dicke $d \geq 1 \text{ m}$ und einer Durchlässigkeit $k_f \leq 1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ möglich ist.

Ein direkter Vergleich der Grenzwerte zu den in der ErsatzbaustoffV-E angegebenen ist nicht möglich, da der Analytik neue Verfahren (Perkolationsverfahren und Schüttelverfahren bei einem Wasser-Feststoff-Verhältnis (WF 2) genormt nach DIN 19528 bzw. DIN 19529⁴¹² (vgl. Tab. 9.3)) zugrunde liegt und die Umrechnung zur Analyse mittels DEV-S4-Verfahren⁴¹³ noch nicht validiert ist. Zudem ist der neue Parameter Vanadium zu prüfen, ein Parameter der bislang nicht bewertet wurde.

⁴¹² DIN 19528: 2009-01 Elution von Feststoffen – Perkulationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen; DIN 19529: 2009-01 Elution von Feststoffen – Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen Stoffen mit einem Wasser / Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg

⁴¹³ Elution nach DIN 38414-S4 (DEV- S4): 1984-10 Deutsches Einheitsverfahren zur Untersuchung von Schlamm und Sedimenten; Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser

Tab. 9.3: Gegenüberstellung der Eluationsverfahren⁴¹⁴

	Schüttelverfahren 10 : 1 DIN 38414 (DEV-S4) (nach QRB-Leitfaden)¹⁾	Säulenverfahren 2 : 1 DIN 19528	Schüttelverfahren 2 : 1 DIN 19529
Wasser/Feststoff- Verhältnis (W/F)	10 : 1	2 : 1	2 : 1
Zerkleinerung	auf < 10 mm	Keine! (außer Fraktion > 32 mm)	Keine! (außer Fraktion > 32 mm)
Elution	Schütteln über Kopf 24 h	Durchströmen einer Säule ca. 20 – 50 h	Schütteln über Kopf 24 h

¹⁾ QRB-Leitfaden: Qualitätssicherungssystem Recycling-Baustoffe Baden-Württemberg „Probenbehandlung“ vom 27.04.2006

Unter Zugrundelegung der eigenen Untersuchungen an Materialproben (Bohrkernentnahme aus Deckenplatten vom Typ P2) wird nachfolgend gezeigt, dass je nach Regelung die Verwertungsoption unterschiedlich ausfällt.

Analysiert wurden 4 Proben (P1 bis P4) nach genormten Verfahren DEV-S4 in einem akkreditierten brandenburgischen Labor. Die Probe 4 wurde außerdem vergleichsweise anhand des in der Säule hergestellten Eluats geprüft nach DIN 19528 allerdings im WF 2,4 (Probenbezeichnung P4_S). In Tab. 9.4 und Abb. 9.16 sind ausgewählte Eluatanalysewerte den verschiedenen Regelungen gegenübergestellt. Die Werte der Proben 1 bis 3 sind zusammengefasst, da die Analysewerte identisch sind bis auf die elektrische Leitfähigkeit; hier weichen die Werte voneinander ab.

⁴¹⁴ Schäfer, Carsten: Aktuelle Qualitäten von Recycling-Baustoffen in Baden-Württemberg, Vortrag anlässlich des 11. Baustoff-Recycling-Tages am 08.10.2008 in Filderstadt

Tab. 9.4: Gegenüberstellung von Zuordnungs- / Grenzwerten für die Verwertung von mineralischen Abfällen (Bauschutt) anhand verschiedener Regelwerke

Parameter	Einheit	LAGA M20; Bb				LAGA EP				Ba-Wü			Bay		NRW		TrinkwV	Ersatzbaustoff/-E			DepV	Eigene Untersuchungsergebnisse Betonproben			
		Z 1.1	Z 1.2	Z 2	RC-1	RC-2	RC-3	Z 1.1	Z 1.2	Z 2	RW 1	RW 2	RCL I	RCL II	RC-1	RC-2		RC-3	P1	P2		P3	P4	P4,WF = 2,4	
Feststoffanalyse																									
MKW		300	500	1.000	300	1.000	300	1.000	300	1.000	300	1.000								≤ 500	100	100	100		
PAK nach EPA	mg/kg	5	15	75	3	9	10	15	35	5	20	15	75							≤ 30	0,362				
EOX		3	5	10			3	5	10	3	15	3	5								0,1	0,1	0,1		
Eluatanalyse																									
elektr. Leitfähigkeit	µS/cm	1.500	2.500	3.500	1.500	2.500	3.000	5.000	200	800		2.000	3.000	2.500	2.000	2.500	10.000	≤ 1.000	3.360	4.280	2.140	4.110	6.310		
Arsen	µg/L	10	40	50			15	30	60	10	60			10		10		≤ 40	1	1	1	< 10	< 10		
Blei		40	100	100			40	100	200	40	200	40	100	7		10		≤ 50	20	20	20	< 10	< 10		
Cadmium		2	5	5			2	5	6	2	10	5	5	0,5		5		≤ 4	2	2	2	< 1	< 1		
Chrom (ges.)		30	75	100	12,5	25	60	30	75	100	50	150			7	50	60	100	≤ 50	15	15	15	19	37	
Kupfer	µg/L	50	150	200	20	60	50	150	200	50	300			14	200	40	70	≤ 150	20	20	20	< 5	< 5		
Nickel		50	100	100	15	20	70	50	100	50	200			14	20			≤ 40	20	20	20	16	< 5		
Quecksilber		0,2	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	2			0,2	1		≤ 1	0,2	0,2	0,2				
Zink		100	300	400	100	150	200	150	300	400	100	600	200	400	58			≤ 300				3,5	0,9		
Phenolindex		10	50	100	10	50	20	50	100	20	100	50	100						5	5	5				
Vanadium														4	30	50	100					< 5	< 5		
Chlorid	mg/L	20	40	150	30	40	100	200	300	125	300	40	150	250		250		≤ 80					<div>x 1,75</div>	0,16	
Sulfat		150	300	600	100	300	600	250	400	600	250	1.000	150	600	240	200 (350)	350 (700)	1.400	≤ 100					<div>x 3</div>	31,3

Abgleich der vorgegebenen Werte verschiedener länderspezifischer Regelungen mit der TrinkwV

eigene Versuchsergebnisse

entspr. Faktor des Perkolationsverfahrens gegenüber dem Schüttelversuch

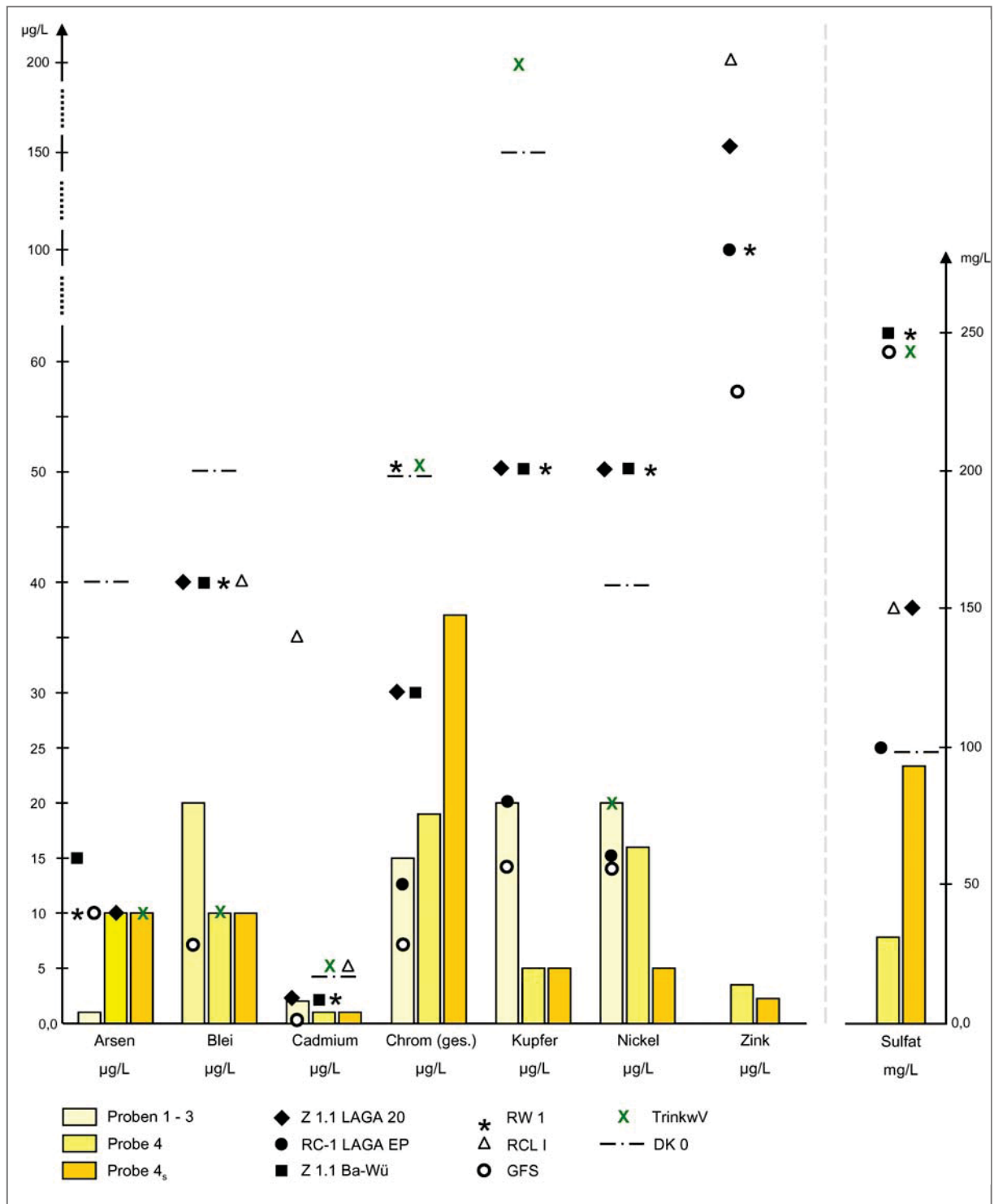


Abb. 9.16: Bewertung von Betonproben hinsichtlich der Einbaumöglichkeiten nach verschiedenen Regelwerken

Die Auswertung der Analyseergebnisse zu den Feststoffgehalten und Eluatkonzentrationen der Proben 1 – 3 ergibt nach LAGA M 20 eine Einstufung in die Z0. Damit würde ein Einbau der RC-Baustoffe in bodenähnlichen Anwendungen ermöglicht werden. In Brandenburg, Berlin und anderen, die LAGA M 20 weiterhin als Vollzugsgrundlage nutzenden Bundesländern, ist dies zulässig. Nach LAGA EP ist es jedoch für Bauschutt nicht möglich. Die Probe 4 weist einen erhöhten Kupferwert auf, so dass eine

Einstufung in Z1.2 erfolgen muss. Unter Zugrundelegung der LAGA EP und der GFS hingegen ist eine Verwertung für alle Proben nicht einmal eingeschränkt offen in technischen Bauwerken machbar.

Die P4_S-Untersuchungsergebnisse erlauben eine Verwertung gemäß ErsatzbaustoffV-E als RC-1 (höchstwertige Verwertung in technischen Bauwerken). P4 nach DEV-S4 bewertet ergibt eine Einordnung in RC-2.

Die elektrische Leitfähigkeit der Probe P3 bspw. hält die Zuordnungswerte Z1.2 LAGA M 20, RC-2 LAGA EP, Z1.1 Ba-Wü, RCL II NRW und RC-2 ErsatzbaustoffV-E ein. Daraus folgt, dass die Anforderungen an den Einbau des Bauschutts unterschiedlich ausfallen. Eine Ablagerung in DK 0 würde allerdings für alle Proben nicht in Frage kommen, da 1.000 µS/cm jeweils überschritten werden.

Einen Überblick über die Verwertungsmöglichkeiten und deren unterschiedlichen Anforderungen an die Einbaubedingungen für die Proben 1 – 4 gibt Tab. 9.5.

Tab. 9.5: Zuordnung der Betonproben zu Verwertungsmöglichkeiten nach verschiedenen Regelwerken der Länder⁴¹⁵

Probenbezeichnung	Regelwerk / Vorschrift	Einbauklasse / -bedingungen, Anwendungen	
P1-3	LAGA M 20: Z0	Uneingeschränkter Einbau	
P1-3	LAGA EP: RC-2	Einbauklasse 1: Offener Einbau in wasserdurchlässigen Schichten	Nur bei günstigen Eigenschaften der Grundwasserdeckschicht
P4		Einbauklasse 2: Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen	gebunden in wasserdurchlässiger Schicht (Asphalt, Beton)
			ungebunden unter wasserdurchlässiger Schicht (Asphalt, Beton)
			Lärmschutzwälle und Dämme definierter Bauweise
			Lärmschutzwälle / Dämme mit frostsicherer, mineralischer Abdichtung / Dichtungsbahnen und Abdeckung mit kulturfähigem Boden
P1-3	Baden-Württemberg: Z1.1	Offene Verwertung in technischen Bauwerken, z. B. als Verfüllmaterial unter einer nicht besonders abdichtenden Schicht	
P4	Z1.2 Offene Verwertung in technischen Bauwerken unter günstigen hydrogeologischen Voraussetzungen		
P1-4	Bayern: RW2	In technischen Bauwerken außerhalb von Überschwemmungsgebieten unter definierten technischen Sicherungsmaßnahmen	Straßen-, Wege- und Verkehrsflächen z. B. als gebundene Deckschicht, gebundene Tragschicht unter wenig durchlässiger Deckschicht (Pflaster, Platten), ungebundene Tragschichten unter wasserundurchlässigen Deckschichten
			Bei Erdbaumaßnahmen z. B. als Lärmschutzsichtschutzwand, Straßendamm (Unterbau)

⁴¹⁵ erweitert nach Speck, Vivien: Verwertung von mineralischen Abfällen – Die Baustoffrecyclingindustrie zwischen Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit, Studienarbeit, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, 2006, S. 101

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass in Deutschland ein dringender Handlungsbedarf für den Vollzug der Verwertung mineralischer Rezyklate besteht. RC-Baustoffe werden weitgehend im Straßen- und Landschaftsbau sowie zur Verfüllung von Tagebauen eingesetzt. Bislang unterliegen sie keiner bundeseinheitlichen Regelung. Es existieren unterschiedliche länderspezifische Regelwerke, die teilweise auf der LAGA M 20 beruhen. Die unterschiedlichen Grenzwerte hinsichtlich der Umweltverträglichkeit, der Einbaubezeichnungen und –bedingungen der mineralischen Abfälle führen zu einem Durcheinander und zu Verunsicherungen aller Beteiligten (Behörden, Recyclingwirtschaft, Bauwirtschaft, Verbraucher).

Unter Beachtung aktueller Anforderungen des Boden- und Grundwasserschutzes hat deshalb das Bundesumweltministerium mit der Erarbeitung einer Bundesverwertungsverordnung (liegt als ErsatzbaustoffV im Entwurf vor) begonnen.

Die Ersatzbaustoffverordnung soll die Verwertung von mineralischen Abfällen als Ersatzbaustoff außerhalb von Deponien bundeseinheitlich mit einem einheitlichen Qualitätssicherungssystem und konform zu anderen Vorschriften (BBodSchG, BBodSchV, WHG, KrW-/AbfG) regeln.

Die im Verwendungsentwurf (Artikelverordnung) restriktiven Verwertungsmöglichkeiten, die sich aus der Prävention des GW-Schutzes und Bodenschutzes ableiten, ergeben sich v. a. aus den schärferen Grenzwerten der Eluate für Chlorid und Sulfat und dem Parameter Vanadium.

Chloride werden überwiegend in Straßen durch Auftausalze eingetragen. Erhöhte Sulfatwerte sind hauptsächlich im Bauschutt aus dem traditionellen Hausbau durch die Verwendung von Ziegeln, Gipskartonplatten, -wandbauplatten, Putze, Estriche etc. zu erwarten. Je nach Anwendungsumfang der Materialien und Abbruchtechnologie wird daher der Sulfatgehalt im erzeugten Bauschutt unterschiedlich hoch sein.

Vanadium ist in den Rohstoffen Ton, Lehm, Schieferton enthalten und hat folglich insbesondere Auswirkungen auf die Konzentrationen im Eluat des Ziegelsplitts. Die Untersuchungen der Deutschen Ziegelindustrie an 110 Ziegelproben ergaben Konzentrationen im mg-Bereich.⁴¹⁶ Damit liegen sie deutlich über den GFS-Werten und der ErsatzbaustoffV-E. Damit wäre die Zulassung von RC-Baustoffen aus Ziegelmaterial für eine Verwertung in technischen Bauwerken in Frage gestellt.

In Plattenbauten sind üblicherweise ca. 5 cm dicke Estrichschichten als Verbundestrich oder schwimmender Estrich auf Decken im Fußboden anzutreffen. Im Zuge krangeführter Demontagen und in Vorbereitung der Wiederverwendung von Deckenplatten wird die Estrichschicht i. d. R. selektiv abgetragen und entsorgt. Insofern verwundert es nicht, dass die auf Sulfat untersuchte Betonproben P4 eine geringe Konzentration aufweist. Die Chloridkonzentration ist ebenso niedrig wie die Konzentration für Vanadium. Das Schwermetall Kupfer hingegen überschreitet den Grenzwert nach ErsatzbaustoffV-Entwurf.

Aufgrund der geringen Datenbasis eigener Betonprobenanalysen kann jedoch noch keine verallgemeinernde Aussage zur Verwertungsklassifizierung nach ErsatzbaustoffV-E getroffen werden. Allenthalben ist eine Tendenz erkennbar.

⁴¹⁶ Rosen, Dieter: Eluatuntersuchungen am Ziegelsplitt, Vortrag anlässlich des Fachgesprächs „Geringfügigkeitsschwellenwert Vanadium“ am 11.12.2008 im Umweltbundesamt Berlin

DEHOUST et. al.⁴¹⁷ leiten aus ihren Analysen zur Umweltverträglichkeit ab, dass keine massiven Einschnitte hinsichtlich der Verwertung durch die Neuregelungen der ErsatzbaustoffV erwartet werden, wenn verbessernde technische Maßnahmen bei der Aufbereitung installiert werden.

Für den heterogen zusammengesetzten Bauschutt würden sich nach den Untersuchungen des BRB auf der Grundlage der Vorgaben der ErsatzbaustoffV die RC-Quoten von derzeit 87 % der Z1.1 infolge der sich verschärfenden Sulfatwerte auf 33 % und unter Berücksichtigung des Parameters Vanadium sogar auf 20 % reduzieren.⁴¹⁸ Damit würde zum einen die Verwertungsquote deutlich herabgesetzt werden, gleichwohl die Substitutionsquote für Primärmaterial, und zum anderen müssten mehr Depotkapazitäten erschlossen werden.

Die Untersuchungen, Rahmenbedingungen, Bewertungen und Diskussionen zur Verwertung mineralischer Abfälle machen deutlich, dass dringend Lösungen zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtungen erforderlich werden. Es sind Lösungsvorschläge zu entwickeln und zu erproben, wie der Abbruch v. a. von traditionell errichteten Gebäuden zu realisieren ist. D. h. es sind qualitative Forderungen an das Verfahren und an die Prozesse des Abbruchs zu stellen. Gleiches gilt für die Aufbereitung, um marktfähige RC-Baustoffe zu erzeugen.

Eine echte Alternative für Anwendungen von RC-Baustoffen wird darin gesehen, ihren Einsatz bei der Betonherstellung zur Verwendung im Hochbau zu erweitern. Darauf soll im nachfolgenden Kap. 9.5 eingegangen werden.

9.5 Die Verwendung von RC-Baustoffen zur Betonherstellung

Für die Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen im Betonbau liegen derzeit umfangreiche Forschungsergebnisse vor, die im Rahmen z. B. des BIM-Projektes⁴¹⁹, NBB-Projektes⁴²⁰, unzähligen Diplomarbeiten und Dissertationsschriften erarbeitet wurden. Daneben sind eine Reihe von normativen Grundlagen geschaffen worden, insbesondere die Richtlinie „Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen“⁴²¹ vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton im Ergebnis des BIM-Projektes. Trotzdem hat sich der Einsatz von RC-Baustoffen als Gesteinskörnung zur Herstellung von Beton bisher nicht im Hochbau durchgesetzt. Mit 2,4 Mio. t (2004) ist der Anteil an der Primärrohstoffsubstitution bei der Betonherstellung unter Berücksichtigung der gesamten Produktionsmenge von RC-Baustoffen aus dem Hochbau stammenden Bauschutts verschwindend gering (vgl. Kap. 9.2).

⁴¹⁷ Dehoust, Günter et. al.: Aufkommen, Qualität und Verbleib mineralischer Abfälle, Entwurf: Endbericht im Auftrag des UBA, November 2007, S. 130

⁴¹⁸ Pressemitteilung des BRB vom 16. Oktober 2008 in Saarbrücken: Recycling-Baustoffindustrie tagt in Saarbrücken, Ersatzbaustoff-Verordnung und REACH im Mittelpunkt

⁴¹⁹ Baustoffkreislauf im Massivbau (BIM) ist ein bundesweit an Hochschulen, Forschungsinstituten und Industriefirmen von 1996 bis 1999 durchgeführtes Forschungsvorhaben gewesen, mit dem Ziel, aus dem Abbruch stammende, aufbereitete RC-Baustoffe als Substitutionsmaterial für natürliche Zuschläge zur Betonherstellung zu verwenden. Die wissenschaftliche Leitung hatte Prof. Gröbl inne. Das Forschungsvorhaben wurde mit 12 Mio. DM vom Bundesforschungsministerium und der Industrie bezuschusst. Näheres s. www.b-i-m.de

⁴²⁰ Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ (NBB-Forschung) gefördert vom Bundesforschungsministerium, koordiniert durch den Deutschen Ausschuss für Stahlbeton im DIN e. V., Projekt B: Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau; vgl. Schlussberichte zur ersten Phase des DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich, 2007, S. 131 ff.

⁴²¹ DAfStb-Richtlinie: Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100, Ausgabe Dezember 2004, Teil 1: Anforderungen an den Beton für die Bemessung nach DIN 1045-1, Hrsg. DAfStb in DIN e. V. (Baustoffkreislauf-Richtlinie)

Als Hauptursache sind neben betriebswirtschaftlichen Gründen die Eigenschaftsveränderungen der erzeugten RC-Betone gegenüber Normal-(Referenz)betonen zu nennen. Dadurch wird die Qualitätssicherung erschwert. Rezyklierte Gesteinskörnungen aus Betonabbruchmassen bestehen aus dem Primärgesteinskorn mit anhaftendem Zementstein. Dieser hergestellte Betonsplitt weist deshalb – im Vergleich zum natürlichen Zuschlag – eine höhere Porosität auf. Sie ist verantwortlich für eine Reihe von Qualitätseinbußen von Betonsplitt: von der erhöhten Wasseraufnahme bis hin zur verminderten Frostbeständigkeit. Dies wirkt sich überwiegend ebenso im bzw. auf den Betonsplittbeton / RC-Beton aus. (Näher wird darauf im Kap. 9.5.2 eingegangen.)

Um die Qualitätsdefizite des Betonsplitts resp. des Betonsplittbetons abzubauen, sind in der Vergangenheit etliche Untersuchungen durchgeführt worden. Das Ziel bestand darin, einen RC-Baustoff / ein Betongranulat / eine Gesteinskörnung ohne Zementsteinanhaftungen zu erzeugen. Auf die technischen Möglichkeiten der Aufbereitung wird in Kap. 9.5.2 hingewiesen.

9.5.1 Normative Grundlagen

Die Eigenschaften von Gesteinskörnungen für Normalbeton (Rohdichte $> 2.000 \text{ kg/m}^3$) sind seit dem 01.06.2004 durch die DIN EN 12620 Gesteinskörnungen für Beton in Verbindung mit der nationalen Anwendungsnorm DIN V 20000-103 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 103⁴²² geregelt. Für rezyklierte Gesteinskörnungen gilt zusätzlich die DIN 4226-100 Gesteinskörnungen für Mörtel und Beton – Teil 100⁴²³. In dieser Norm sind die spezifischen baustofflichen und umweltverträglichen Anforderungen für rezyklierte Gesteinskörnungen mit einer Kornrohichte $\geq 1.500 \text{ kg/m}^3$ für die Verwendung in Beton und Mörtel festgelegt (vgl. Tab. 9.2). Die Eluierbarkeit der rezyklierten Gesteinskörnungen ist nach der DIN 38414-4 (DEV-S4) zu ermitteln. Die ermittelten Inhaltsstoffe sind anhand der vorgegebenen Höchstwerte für Eluatkonzentrationen und Feststoffgehalte im Anhang G der DIN 4226-100 zu bewerten.

Die DAfStb-Richtlinie, Teil 1 gilt für Gesteinskörnungen der Typen 1 und 2 nach DIN 4226-100 zur Herstellung und Verarbeitung von Beton nach DIN 1045-2⁴²⁴ und DIN EN 206-1⁴²⁵ bis zur Druckfestigkeitsklasse C 30/37 unter Beachtung bestimmter Einschränkungen („Beton mit angepasster Zusammensetzung“). Die Herstellung von Spannbeton und Leichtbeton unter Verwendung rezyklierter Gesteinskörnungen ist nicht zulässig. Der Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen im Beton ist nur anteilig möglich und beschränkt sich auf Korngrößen $> 2 \text{ mm}$ (s. Tab. 9.6).

⁴²² DIN V 20 000-103: 2004-04 Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 103: Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620: 2003-04

⁴²³ DIN 4226-100: 2002-02: Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel – Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen

⁴²⁴ DIN 1045-2: 2001-07 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton-Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1

⁴²⁵ DIN EN 206-1: 2001-07 Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Deutsche Fassung EN 206-1: 2000

Tab. 9.6: Zulässige Anteile rezyklierter Gesteinskörnungen > 2 mm, bezogen auf die gesamte Gesteinskörnung (Vol.-%)⁴²⁶

	Anwendungsbereich		Gesteinskörnungstyp 1 nach DIN 4226-100	Gesteinskörnungstyp 2 nach DIN 4226-100
	Alkalirichtlinie	DIN EN 206-1 und DIN 1045-2		
	1	2	3	4
1	WO (trocken)	Carbonatisierung XC1	≤ 45	≤ 35
2	WF ¹⁾ (feucht)	kein Korrosionsrisiko X0 Carbonatisierung XC1 bis XC4		
3		Frost ohne Taumittleinwirkung XF1 ¹⁾ und XF3 ¹⁾ und in Beton mit hohem Wasser- eindringwiderstand	≤ 35	≤ 25
4		chemischer Widerstand (XA1)	≤ 25	≤ 25

¹⁾ zusätzliche Anforderungen s. Abschnitt 1, (3) und (4) DAfStb

Beim Konzept „Beton mit angepasster Zusammensetzung“ nach Teil 1 DAfStb (Begrenzung des Anteils rezyklierter Gesteinskörnungen) erfolgt die Bemessung analog für Normalbeton nach DIN 1045-1.⁴²⁷ Teil 2 dieser Richtlinie, der bisher im Entwurf vorliegt, soll die Bemessung, Betontechnik und Ausführung von Betonen mit Anteilen rezyklierter Gesteinskörnungen regeln, die über die höchstzulässigen Anteile nach Teil 1 (bis 100 %) liegen. Der RC-Beton kann danach nur in den Expositionsklassen X0 und XC1 bei trockenen Umgebungen eingesetzt werden. Da die Veröffentlichung des Teils 2 noch nicht bekannt ist, soll hier nicht weiter darauf eingegangen werden.

Interessant ist der Vergleich internationaler Regelwerke von ROOS⁴²⁸, zur Herstellung von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen (RC-Beton), um zu zeigen ob und welche Grenzwerte oder Beschränkungen in anderen Ländern gelten. Nachstehende Tab. 9.7 vermittelt einen Überblick.

⁴²⁶ DAfStb-Richtlinie: Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierter Gesteinskörnung nach DIN 4226-100, Ausgabe Dezember 2004, Teil 1: Anforderungen an den Beton für die Bemessung nach DIN 1045-1, S. 4, Tab. 1

⁴²⁷ DIN 1045-1: 2001-07 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion

⁴²⁸ Roos, Frank: Ein Beitrag zur Bemessung von Beton mit Zuschlag aus rezyklierter Gesteinskörnung nach DIN 1045-1, in: Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau, TU München 2/2002, S. 7 ff.

Tab. 9.7: Internationale Regelwerke und Anwendungsgrenzen für Recyclingbeton in den unterschiedlichen Ländern (Stand 2002)⁴²⁹

Land	Norm	Richtlinie Empfehlung Normentwurf	Anwendungsbereich	zulässiges rezykliertes Material (%)	Verwendung von rezykliertem Sand < 4 mm	erlaubte Festigkeits- klassen	erlaubte Fremdstoff- mengen	Bemessung
Deutsch- land	DIN 4226- 100	Richtlinie des DAfStb	nicht für Spann- beton, Leichtbeton und starken chemischen Angriff	Gesteinskörnungs- typ 1 ≤ 45 Gesteinskörnungs- typ 2 ≤ 35 , je nach Anwen- dungsbereich	> 2 mm erlaubt	C 30/37	$\leq 0,2$ M.-% (Typ 1) $\leq 0,5$ M.-% (Typ 2) z. B. Holz, Glas, Kunst- stoff	nach DIN 1045
Schweiz	SN 562 162 Teil 4	-	für Spannbeton nur mit besonde- ren Prüfungen	0 – 100 je nach Verwendung	erlaubt	alle nach der Betonbaunorm SIA 162 erlauben	< 0,3 M.-% Holz Kunststoffe	nach SIA 162
Niederlande	NEN 5905 NEN 5950	-	nur in passiver und moderater Umgebung	20 nur Betonbruch	bis zu 20 % erlaubt	bis zu einer Festigkeit von 40 N/mm ²	bis zu 1 % Bitumen bis zu 0,1 % organisches Material	nach NEN 5950
Dänemark	-	Richtlinie der Danish Concrete Association	nur in passiver und moderater Umgebung	0 – 100 in der Kornfraktion > 4 mm	erlaubt	je nach Zuschlag bis zu einer Festigkeit von 40 N/mm ²	-	Dänische Betonbaunorm
Japan	-	Normenvorschlag der Building Contractors Society of Japan	nur für unterge- ordnete Bauteile	0 – 100 nur Betonbruch	erlaubt	je nach Zuschlag bis zu einer Festigkeit von 21 N/mm ²	bis zu 10 kg/m ³ Gips, Putz bis zu 2 kg/m ³ Asphalt	Japanische Betonbaunorm
Belgien	-	Normenvorschlag des Umwelt- und Verkehrsministe- riums	nur in nicht aggressiver Umgebung	0 – 100	nur erlaubt, wenn die Normen für natürliche Zuschläge erfüllt werden	je nach Zuschlag bis zur Festig- keitsklasse C 30/37	< 1 % nicht mineralische Bestandteile	EC 2 mit Korrekturfakto- ren nach dem Normenvor- schlag

International betrachtet erlauben fast alle Regelwerke nur die Verwendung von reinem Beton als rezyklierte Gesteinskörnung zur Betonherstellung. Der Einsatz von Rezyklaten ist fast überall auf Betonfestigkeit von 40 N/mm² beschränkt, der Brechsandanteil ≤ 2 bzw. ≤ 4 mm wird restriktiv gehandhabt und die Verwendung in Spannbetonkonstruktionen ist fast immer ausgeschlossen. Die Begrenzungen für Stör- / Fremdstoffanteile betragen bis zu 1 %.

⁴²⁹ Roos, Frank: Ein Beitrag zur Bemessung von Beton mit Zuschlag aus rezyklierter Gesteinskörnung nach DIN 1045-1, in: Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau, TU München 2/2002, S. 19; Angaben für Deutschland aktualisiert (Stand Dezember 2008)

9.5.2 Stand der Kenntnisse zum Recyclingbeton (RC-Beton)

Unter dem Begriff rezyklierte Gesteinskörnungen sind in RC-Anlagen aufbereitete Splitte > 4 mm (Betonsplitte) und Brechsand ≤ 4 mm (Betonbrechsande) zusammengefasst.

9.5.2.1 Technische Merkmale rezyklierter Gesteinskörnungen aus Betonbruch und deren Auswirkungen auf die Verarbeitung und Herstellung von RC-Beton

Die Eigenschaften der Rezyklate werden einerseits von der Zusammensetzung des Altbetons und andererseits v. a. von der Art der Aufbereitung beeinflusst. Daraus resultieren folgende wichtige Eigenschaften⁴³⁰:

- Kornform Betonsplitte

In Abhängigkeit von der Beanspruchungsart im Betonbrecher⁴³¹ entsteht ein Betonsplitt aus kubischen und / oder plattigen Körnern. Die plattige Kornform mit kantiger Oberfläche führt bei losen Aufschüttungen zu höheren Hohlraumgehalten (35 bis 40 Vol.-%) im Vergleich zu Kies-Sanden (ca. 25 Vol.-%). Angestrebt werden sollte eine gedrungene Kornform der Gesteinskörner im Verhältnis Länge zu Dicke etwa 1 : 3. Dann ist die Verdichtungswilligkeit gut und der Bindemittelbedarf geringer. Plattige Gesteinskörnungen lassen sich schlechter verarbeiten. Deshalb ist i. d. R. ein erhöhter Bindemittelleim (Zugabe von Feinstoffen z. B. Zement, Gesteismehl, Flugasche) erforderlich und / oder der Einsatz von Betonverflüssigern oder Fließmitteln.

- Korncharakterisierung Betonsplitte

Betonsplitte weisen aufgrund des anhaftenden Zementsteinanteils am Gesteinskorn eine hohe Porosität auf, was zu einem stärkeren Wassersaugen führt und die Verarbeitbarkeit erschwert. Um diesen Einfluss beim wirksamen Wassorzementwert (w/z-Wert) von Beton zu berücksichtigen, wird empfohlen, die Gesteinskörnungen vorzunässen.

- Betonbrechsande

Die Untersuchungen von HAUER / RAMOLLA et. al.⁴³² an 10 Betonbrechsanden ergaben im Durchschnitt eine Rohdichte von 2,2 g/cm³, eine Porosität von 12 – 21 % und dadurch eine erhöhte Wasseraufnahme bis zu 5 – 9 % (vgl. Abb. 9.17, 9.18), während die Wasseraufnahme des Natursandes nur 1 Gew.-% beträgt. Zusätzlich beeinflussen Mikrorisse eine gesteigerte Wasseraufnahme. Sie resultieren aus einer nicht optimalen Aufbereitung, vergrößern die Oberfläche der Körnung und damit die Wasseraufnahme.

⁴³⁰ vgl. Hauer, Bruno; Ramolla, Stefanie et. al.: Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau – Teilprojekt B1, in: Schlussberichte zur ersten Phase des DAfStb / BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“, Hrsg. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton DAfStb, 2007, S. 176, 198 f.; Helm, Monika: Qualitätsanforderungen im Baustoffrecycling, in: Recycling von Baustoffen, Hrsg. Bernd Bilitewski, 1993, S. 281 ff.

⁴³¹ Der Backenbrecher liefert plattiges Material, im Prallbrecher werden kubische bzw. gedrungene Gesteinskörnungen erzeugt.

⁴³² Hauer, Bruno; Ramolla, Stefanie et. al.: Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau – Teilprojekt B1, in: Schlussberichte zur ersten Phase des DAfStb / BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“, Hrsg. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton DAfStb, 2007, S. 199

Die chemische Analyse nach der DIN Norm DIN EN 1744-1⁴³³ und der Alkalirichtlinie⁴³⁴ ergab eine Unterschreitung der Grenzwerte für Chlorid- und Sulfatgehalte. Der festgestellte hohe Anteil an NaOH-löslichen Bestandteilen führt zu der Besorgnis, dass evtl. eine Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)⁴³⁵ im Beton ausgelöst werden kann mit der Folge eines Betonschadens. Diese Untersuchungsergebnisse untersetzen die Empfehlungen der DAfStb-Richtlinie⁴³⁶, die Verwendung von Brechsanden < 2 mm für die Betonherstellung auszuschließen.

9.5.2.2 Möglichkeiten zur Verbesserung der Eigenschaften von Rezyklaten durch Aufbereitung

- **Kennzeichnung Aufbereitungsprozess**

Die Aufbereitung von Bauschutt erfolgt in stationären, mobilen oder semimobilen Anlagen. Von den insgesamt 2 290 in Deutschland arbeitenden Anlagen sind 642 (\triangleq knapp $\frac{1}{3}$) stationär in Betrieb.⁴³⁷

Der Bauschutt durchläuft in Aufbereitungsanlagen Sortiereinrichtungen, Brecher und Klassiereinrichtungen. Während dieses Prozesses – dem Sortieren, Zerkleinern und Klassieren – wird der Zustand des Rezyklates mehrfach verändert. Demzufolge können die physikalischen Eigenschaften innerhalb der Aufbereitung gezielt gesteuert werden. Bei der Zerkleinerung, dem Hauptprozess der Aufbereitung, werden die wesentlichsten Veränderungen am aufzubereitenden Material vollzogen.

Für den Einsatz der Rezyklate im Betonbau wird überwiegend in die Fraktion 0/4, 4/8, 8/16, 16/32 klassiert. Im Straßenbau finden hauptsächlich die Korngrößen 0/45 und 0/56 Anwendung. Die Körnung 0/4, Brechsand, kann bis zu 40 % des gesamten Rezyklates ausmachen. Körnungen > 2 mm können – wie o.a. – als rezyklierte Gesteinskörnung im Betonbau verwendet werden. Die Körnung < 2 mm hingegen, die bei der Aufbereitung zu ca. 35 – 38 % anfällt, ist beim Betonbau ausgeschlossen.⁴³⁸

Maßgebenden Einfluss auf eine hochwertige Qualität der Gesteinskörnungen resp. der RC-Produkte haben die sortenreine Anlieferung der Betonabbruchmassen, deren selektive Aufbereitung und getrennte Lagerung. Die sortenreine Anlieferung des Bauschutts bedingt einen selektiven Abbruch und setzt eine getrennte Lagerung auf der Abbruchbaustelle voraus.⁴³⁹

⁴³³ DIN EN 1744-1:2007-09 Prüfverfahren für chemische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Chemische Analyse

⁴³⁴ Maßnahmen zur Vermeidung von AKR-Schäden sind in der DAfStb-Richtlinie: Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkaliaktionen im Beton (Alkali-Richtlinie) – Teil 1: Allgemeines, Teil 2: Gesteinskörnungen mit Opalsandstein und Flint, Teil 3: Gebrochene alkaliempfindliche Gesteinskörnungen, Ausgabe 2007-02, geregelt.

⁴³⁵ Als AKR im Beton wird ein Vorgang bezeichnet, bei dem alkaliempfindliche Bestandteile der Gesteinskörnung (alkalische SiO₂-Komponenten) mit den Alkalien der Porenlösung im Beton reagieren. Dadurch kommt es zu Treiberscheinungen.

⁴³⁶ DAfStb-Richtlinie: Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100, Ausgabe 2004-12

⁴³⁷ Schulz, Ingo: Eigenschaften von RC-Baustoffen – Stand der Aufbereitungstechnik und Untersuchungsverfahren, Vortrag auf dem BMU-Workshop, 13./14.02.2006 in Bonn

⁴³⁸ Heinz, Detlef; Schubert, Jürgen: Nachhaltige Verwertung von Betonbrechsand als Betonzusatzstoff, 2006, S. 5

⁴³⁹ vgl. Ledererová, Miriam; Grüner, Karol: Optimization of the technology for recycling concrete materials (Optimierung der Technologie zum Betonrecycling), in: Slovak journal of civil engineering, Bratislava, 2005, S. 40

- **Möglichkeiten der Aufbereitung zur Verbesserung der Betonspliteigenschaften**

MÜLLER⁴⁴⁰ zeigt auf, dass die Wasseraufnahme der Betonsplitte, die in einer zweistufigen Anlage (Kombination von Backen- und Prallbrecher) aufbereitet wurden, am geringsten ist. Die zweistufige Zerkleinerung wurde den einstufigen Zerkleinerungen im Backenbrecher und im Prallbrecher gegenübergestellt. Da sich beim Brechvorgang der Zementstein besonders in den Korngruppen ≤ 4 mm anreichert und damit die Porosität erhöht, ist die Wasseraufnahme in dieser Korngruppe am höchsten (s. Abb. 9.17). Das Verhältnis der Wasseraufnahme in Abhängigkeit von der Korngröße ist, unabhängig von der Brecherart, etwa immer gleich groß. Dies bestätigen auch KERKHOFF und SIEBEL⁴⁴¹ in ihren Untersuchungen (Abb. 9.18). Die Gesteinskörnungen wurden einstufig im Prallbrecher zerkleinert.

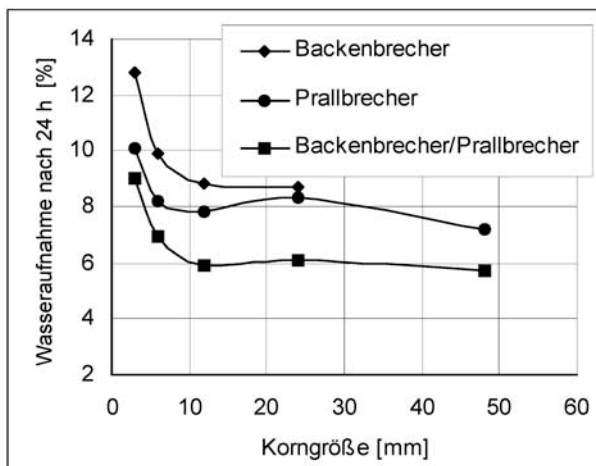
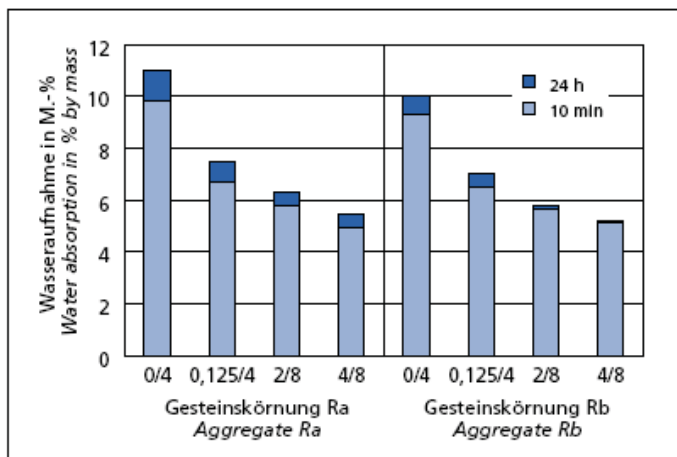


Abb. 9.17: Wasseraufnahme von Betonsplitten hergestellt in verschiedenen Brechern⁴⁴²



Ra Ausgangsbeton B 15
Rb Ausgangsbeton B 45

Abb. 9.18: Wasseraufnahme von Betonsplitten⁴⁴³

⁴⁴⁰ Müller, Anette: Recycelte Baustoffe und ihre Verwendung von RC-Material in hochwertigen Baustoffprodukten, in: Tagungsband Innovationsforum: Kooperationsverbund Baustoff – Nachhaltige Produkt- und Technologieentwicklung, Nordhausen, 23./24.11.2006, S. 101

⁴⁴¹ Kerkhoff, Beatrix; Siebel, Eberhard: Eigenschaften von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen, in: Betontechnische Berichte, Ausgabe 2003, Hrsg. Vdz Deutsche Zementindustrie, S. 54

⁴⁴² Müller, Anette: Recycelte Baustoffe und ihre Verwendung von RC-Material in hochwertigen Baustoffprodukten, in: Tagungsband Innovationsforum: Kooperationsverbund Baustoff – Nachhaltige Produkt- und Technologieentwicklung, Nordhausen, 23./24.11.2006, S. 102

⁴⁴³ Kerkhoff, Beatrix; Siebel, Eberhard: Eigenschaften von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen, in: Betontechnische Berichte, Ausgabe 2003, Hrsg. Vdz Deutsche Zementindustrie, S. 54

Festgehalten werden kann, dass die Wasseraufnahme nach 24 h nur geringfügig zunimmt im Vergleich zu 10 Minuten. Folglich ist für die Berechnung des Vornässens der Betonsplitte für die Betonherstellung die zehnminütige Wasseraufnahme ausreichend. Dies spiegelt sich in den Anforderungen der DIN 4226-100 hinsichtlich der zu ermittelnden max. Wasseraufnahme nach 10 Minuten wieder.

Die Festigkeit der Zuschläge, anhand des Schlagzertrümmerungswertes bewertet, zeigt, dass auch hier bei der zweistufigen Zerkleinerung das beste Ergebnis erzielt wurde:

Tab. 9.8: Schlagzertrümmerungswerte von Betonsplitten hergestellt in verschiedenen Brechern⁴⁴⁴

Brechertyp	Absplitterung [M.-%]
Backenbrecher	32,7
Prallbrecher	31,0
Backen- / Prallbrecher	26,5

Hinsichtlich der Kornformen und den Zementsteinanteilen sind an den Betonsplitten keine nennenswerten Unterschiede ermittelt worden.

Eine weitere Qualitätsverbesserung von Betonsplitten kann erreicht werden, wenn sie im Anschluss der Zerkleinerung in Aufschlussverfahren (Abrasion) behandelt werden. Die Trennung des Gesteinskorns vom störenden anhaftenden Zementstein kann durch mechanische, thermische oder chemische Prozesse erfolgen. MÜLLER⁴⁴⁵ bewertet Abrasionsbehandlungsverfahren zum Aufschließen in:

- exzentrischer Rohrmühle (trockene Abrasionsbehandlung),
- Waschtrommel mit anschließender Setzsortierung (nasse Abrasionsbehandlung),
- Friktionstrommeln (trockene Abrasionsbehandlung)

und mittels

- thermischer Behandlung,

um hochwertige Gesteinskörnungen aus Betonabbruch herzustellen.

Festgestellt wurde, dass in der exzentrischen Rohrmühle Gesteinskörnungen mit Rohdichten zwischen 2,4 und 2,53 g/cm³ herstellbar sind. Demzufolge unterscheiden sich die rezyklierten Gesteinskörnungen praktisch nicht von den natürlichen Gesteinskörnungen, denn sie sind nur geringfügig niedriger als die zur Betonherstellung verwendeten Rohstoffe mit Rohdichten zwischen 2,5 und 2,6 g/cm³.

Damit wurde nachgewiesen, dass die Qualität der Rezyklate durch den Aufbereitungsprozess so beeinflusst werden kann, dass keine Defizite gegenüber Primärrohstoffen bestehen.

⁴⁴⁴ Müller, Anette: Recycelte Baustoffe und ihre Verwendung von RC-Material in hochwertigen Baustoffprodukten, in: Tagungsband Innovationsforum: Kooperationsverbund Baustoff – Nachhaltige Produkt- und Technologieentwicklung, Nordhausen, 23./24.11.2006, S. 102 ff.

⁴⁴⁵ ebenda, 2006, S. 102 ff.

• Erweiternde Aufbereitung von Betonbrechsanden und neue Verwertungspfade

Aufgrund der Tatsache, dass Brechsande in erheblichen Mengen bei der Aufbereitung von Bauschutt anfallen (ca. 35 – 40 M.-% < 2 mm), es aber dafür nur wenige Verwertungsmöglichkeiten gibt, führte u. a. MÜLLER⁴⁴⁶ experimentelle Untersuchungen zur Fein- bzw. Feinstzerkleinerung durch. Ermittelt wurde, dass die aus aufgemahlenen Betonbrechsanden in einer Kugelmahl-Sicht-Anlage erzeugten Mineralmehle in einer bestimmten Feinheit zur Verbesserung der Verarbeitung von Mörtel führen. Durch den Mahlprozess werden die Poren der Sande geschlossen und damit der hohen Wasseraufnahme entgegengewirkt. Diese Erkenntnis gab den Anlass zu Untersuchungen, ob die durch Feinmahlung gewonnenen Mineralmehle im selbstverdichtenden Beton (SVB)⁴⁴⁷ oder in selbsterhärtenden Tragschichten eingesetzt werden können. Die Untersuchungsergebnisse ergaben, dass Betonmehl sowohl aus beton- als auch aus verfahrenstechnischen Gesichtspunkten als Zusatzstoff für Leichtbeton und SVB geeignet ist. MÜLLER und SEIFERT⁴⁴⁸ schlussfolgern für die praktische Umsetzung, Qualitätskriterien auszuarbeiten und die Korngrößenverteilungen zu definieren. Die Prüfungen zum Einsatz von Betonmehlen als tragfähigkeitserhöhende Bestandteile in Tragschichten sind im Gange.

HEINZ, SCHUBERT führten im Rahmen des Forschungsverbundes BayFORREST umfassend Untersuchungen an Brechsanden in unterschiedlichen Mahlfeinheiten 90 % < 90 µm; 90 % < 50 µm und 90 % < 10 µm durch, um das physikalische und ggf. chemische Potenzial zu analysieren und ihre Eignung als Betonzusatzstoff⁴⁴⁹ festzustellen.⁴⁵⁰

Die Aufmahlung wurde in einer Kugelmühle bzw. Rührwerkskugelmühle durchgeführt. Dabei wurde der Einfluss des jeweiligen Mahlverfahrens auf die Wirkung als Betonzusatzstoff geprüft.

Hinsichtlich des Energieaufwandes wurde ermittelt, dass der Aufwand für die Aufmahlung mit steigender Feinheit überproportional zunimmt. Da die extrem feine Aufmahlung auch keine bautechnischen Vorteile aufweist, ist eine Aufmahlung der Brechsande auf Zementfeinheit 90 % < 90 µm als ausreichend ermittelt worden. Betonmehle der Feinheit 90 % < 90 µm weisen im Vergleich zu Hüttensand und Zementklinker den gleichen Energieverbrauch auf. Die chemischen Analysen der Betonmehle ergaben als Hauptbestandteile CaO und SiO₂.

Die Prüfungen der Druckfestigkeit an Mörtelprismen bei 15 %, 25 % und 35 % Betonmehlgehalten ergaben, dass höhere Betonmehlgehalte deutlich geringere Druckfestigkeiten ausweisen. Bei einem Zementaustausch von 15 M.-% durch Betonmehl wurden lediglich 10 % geringere Festigkeiten nach 28 d festgestellt. Kompensiert werden konnten die Festigkeitseinbußen durch einen feiner

⁴⁴⁶ Müller, Anette: Recycelte Baustoffe und ihre Verwendung von RC-Material in hochwertigen Baustoffprodukten, in: Tagungsband Innovationsforum: Kooperationsverbund Baustoff – Nachhaltige Produkt- und Technologieentwicklung, Nordhausen, 23./24.11.2006, S. 105 f.

⁴⁴⁷ SVB ist ein Hochleistungsbeton, der ohne Verdichtungsenergie unter Einfluss der Schwerkraft selbstständig entlüftet. Von Vorteil ist zudem das außerordentlich gute Fließverhalten. SVB enthält bei gleichen Zementgehalt und Wasserzementwert (w/z-Wert) einen höheren Anteil an Fließmittel und an Mehlkorn als Normalbeton (Mehlkorngehalt SVB: 500 – 600 kg/m³; Normalbeton: 350 – 400 kg/m³). [www.beton.org/fachinformation/betonbautechnik/selbstverdichtender-beton.html; aufgerufen am 22.01.2009]

⁴⁴⁸ Müller, Anette; Seifert, Gabi: Verwertung durch Feinmahlung: RC-Mehle für selbstverdichtende Betone und selbsterhärtende Tragschichten, in: Tagungsunterlagen Fachtagung „Recycling '07 und Mitteldeutscher Baustoff-Recycling Tag“, Weimar

⁴⁴⁹ Betonzusatzstoffe sind z. B. inerte Gesteinsmehle. Latent-hydraulische Stoffe (z. B. Hüttensand), Puzzolane (z. B. Flugasche, Silikatstaub), die bestimmte Eigenschaften des Betons beeinflussen / verbessern sollen. Ihr Stoffraum muss bei der Mischungsberechnung einfließen.

⁴⁵⁰ Heinz, Detlef; Schubert, Jürgen: Nachhaltige Verwertung von Betonbrechsand als Betonzusatzstoff, 2006, S. 13 ff.

aufgemahlenen Portlandzement (anstelle CEM I 32,5 R kam CEM I 42,5 R zum Einsatz) bei Beibehaltung des w/z-Wertes. Auch die Ergebnisse weiterer untersuchter Parameter zeigen, dass aufbereitete feingemahlene Brechsande als Zusatzstoff bei der Herstellung von Beton eingesetzt werden können.

Daneben wurden Versuche zur thermischen Reaktivierung von Betonbrechsanden absolviert. Es ist gelungen, den Zementstein verschiedener Zementtypen nach einer Aufmahlung $< 200 \mu\text{m}$ zu dehydrieren und zu dekarbonatisieren und dabei die wesentlichen Phasen des Ausgangszements wieder herzustellen. Im Gegensatz zu den übrigen Anwendungen ist hier ein hoher Zementsteingehalt erwünscht. Festgestellt wurde, dass bei einer Temperatur von ca. 700°C bei optimaler Verweildauer der Mehle im Ofen von ca. 30 min. C_2S -Phasen entstehen. Die hydraulischen Eigenschaften der thermisch behandelten Betonmehle machen somit den Einsatz als Bindemittel möglich.

Für die Praxis hat das zur Folge, dass der Mahlvorgang in den Prozess der Aufbereitung zu integrieren ist. Eine Investition wird jedoch erst dann sinnvoll, wenn das Produkt nachgefragt wird. Alternativ bietet sich an, den Zementklinker zusammen mit dem Brechsand zu vermahlen und somit einen Portlandkompositzement herzustellen. Die Untersuchungen, Brechsande als Rohstoffkomponente für die Herstellung von Zement zu verwenden, ergaben, dass sich Ausgangsmaterialien aus kalksteinreichen Betonen und Mauerwerkssplitt besonders gut eignen.⁴⁵¹

Mit Untersuchungen höherer Verwertungswege für Brechsande befassten sich auch HLAWATSCH, BERGER, SCHLÜTTLER, KROPP⁴⁵². In einem durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft geförderten Vorhaben wurde das Härtungspotenzial von Betonbrechsanden untersucht. Der hohe Gehalt an CaO -Verbindungen aus der Zementsteinmatrix ließ die Erwartung zu, ohne zusätzliche Bindemittel ausreichende Festigkeiten zu liefern. In Versuchsreihen konnte der Nachweis für ein technisch nutzbares Härtungspotenzial von Betonbrechsanden erbracht werden. Nach 12-stündiger Erhärtung im Autoklaven wurden bei 200°C eine Biegezugfestigkeit von ca. 2 N/mm^2 und eine Druckfestigkeit von ca. 10 N/mm^2 erreicht. Unter Zugabe von Zusätzen zum reinen Betonbrechsand verdichtete sich das Gefüge und die Festigkeiten konnten gesteigert werden. Die Zugabe von Weißkalkhydrat führte nach 12 h zu Biegezugfestigkeitszunahmen auf über 3 N/mm^2 und bereits nach 6 h betrug die Druckfestigkeit 16 N/mm^2 . Damit wurde nachgewiesen, dass ohne die Verwendung eines Bindemittels bspw. Wandbaustoffe mit technisch und energetisch geringem Aufwand herstellbar sind.

9.5.2.3 Festbetoneigenschaften von RC-Betonen

Am häufigsten wurden Untersuchungen zur Betondruck- und -zugfestigkeit sowie zum Elastizitätsmodul durchgeführt. Da jeglicher Beton gemäß Normenkonzept nach der Druckfestigkeit klassifiziert wird, ist dies auch nicht verwunderlich. Beton als tragender Baustoff weist ein günstiges Festigkeitsverhalten, insbesondere unter Druckspannungen auf.

⁴⁵¹ Heinz, Detlef; Schubert, Jürgen: Nachhaltige Verwertung von Betonbrechsand als Betonzusatzstoff, 2006, S. 84 f.

⁴⁵² Hlawatsch, Frank; Berger, Michael; Schlütter, Frank; Kropp, Jörg: Autoklaves Härtungspotenzial und hydrothermale Reaktionsprozesse von Betonbrechsand, in: Tagungsbericht – Band 2, 16. Internationale Baustofftagung, 20. – 23.09.2006 in Weimar

- **Druckfestigkeit**

Die Frage, ob sich ein Druckfestigkeitsabfall oder eine –zunahme durch den Einsatz von Betonsplitt einstellt, wird in der Literatur unterschiedlich beantwortet. Die meisten Autoren geben an, dass je nach Mischungszusammensetzungen, Größtkorndurchmesser, Zementgehalt, w/z-Wert etc. die Druckfestigkeit um 10 – 30 % im Vergleich zu Referenzbeton abnehmen kann. Der Festigkeitsabfall wird u. a. auf höhere Wasseraufnahmen des Betonsplitts bei der Verarbeitung zurückgeführt und auf den Einsatz von Betonbrechsanden.

ROOS⁴⁵³ weist in umfangreichen Versuchen nach, dass mit rezyklierter Gesteinskörnung problemlos Druckfestigkeiten von ca. 50 N/mm² erzielbar sind. Aus wirtschaftlichen Gründen empfahl er, Rezyklate (nur) bis zur Festigkeitsklasse C 30/37 einzusetzen, da höhere Festigkeitsklassen höhere Zementgehalte erfordern. In der Richtlinie des DAfStb findet dies ihren Niederschlag.

- **Zugfestigkeit**⁴⁵⁴

In der Literatur sind, ähnlich der Druckfestigkeit, verschiedene Ergebnisse zu finden: vom Anstieg bis zum Abfall. Einhellig sind sich die Autoren jedoch darin, dass die Verwendung von rezyklierten Sand < 4 mm eine Abminderung der Zugfestigkeit bewirkt.

ROOS⁴⁵⁵ erforschte in seinen Versuchen eine Reduktion der zentrischen Zugfestigkeit um 10 bis 20 %. Gleichwohl weist er darauf hin, dass zur altersabhängigen Entwicklung der Zugfestigkeiten weder für Beton mit natürlichen Gesteinskörnungen noch mit rezyklierten Gesteinskörnungen gesicherte Kenntnisse vorliegen.

- **Elastizitätsmodul (E-Modul)**

Der E-Modul beschreibt den Widerstand des Betons gegen elastische Verformungen; definiert das Verhältnis von Spannung zu elastischer Dehnung.⁴⁵⁶

In der Literatur wurde einhellig festgestellt, dass sich die Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen auf den E-Modul nachteilig auswirkt. Hauptsächlich hängt der Abfall des E-Moduls des RC-Betons mit der Verminderung des E-Moduls der Rezyklate zusammen. Da die Zementsteinmatrix wenig Einfluss darauf hat, erreichen auch betontechnologische Maßnahmen nicht das Niveau von Referenzbetonen mit natürlichen Gesteinskörnungen.

Für RC-Beton mit einer Rohdichte von 2.200 kg/m³ unter Verwendung von Betonsplitten wurde eine Reduktion von 20 % ermittelt. Bei gemischter Zusammensetzung der Rezyklate verringert sich der E-Modul um 30 % bis zu 50 % je nach Zusammensetzung der aufbereiteten Gesteinskörnung.⁴⁵⁷

⁴⁵³ Roos, Frank: Ein Beitrag zur Bemessung von Beton mit Zuschlag aus rezyklierter Gesteinskörnung nach DIN 1045-1, Dissertation veröffentlicht in: Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau, TU München 2/2002, S. 53 ff.

⁴⁵⁴ Die Zugfestigkeit von Beton ist etwa um eine zehner Potenz kleiner als seine Druckfestigkeit. In den meisten Veröffentlichungen wurde die Spaltzugfestigkeit bewertet. Im Vergleich zur Biegezugfestigkeit und zentrischen Zugfestigkeit ist sie am häufigsten zu prüfen. [Roos, Frank: Ein Beitrag zur Bemessung von Beton mit Zuschlag aus rezyklierter Gesteinskörnung nach DIN 1045-1, in: Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau, TU München 2/2002, S. 82]

⁴⁵⁵ Roos, Frank: Ein Beitrag zur Bemessung von Beton mit Zuschlag aus rezyklierter Gesteinskörnung nach DIN 1045-1, in: Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau, TU München 2/2002, S. 25, 91 ff.

⁴⁵⁶ „Beton folgt dieser Beziehung (Hooksches Gesetz) näherungsweise nur bei kurzzeitiger Druckbeanspruchung bis zu etwa 40 % seiner Druckfestigkeit.“ [Scholz, Wilhelm; Hiese, Wolfram: Baustoffkenntnis, 2003, S. 208]

⁴⁵⁷ Roos, Frank: Ein Beitrag zur Bemessung von Beton mit Zuschlag aus rezyklierter Gesteinskörnung nach DIN 1045-1, in: Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau, TU München 2/2002, S. 25, 91 ff.

Diese Ergebnisse verdeutlichen, weshalb die Anwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen für verformungsempfindliche Betone (im Brückenbau, in Spannbetonkonstruktionen, etc.) nicht möglich ist.

- **Kriechen und Schwinden**⁴⁵⁸

Die in der Literatur veröffentlichten Versuchsergebnisse zu Kriech- und Schwindverformungen zeigen für Betonsplittbeton Zunahmen zwischen 30 % und 40 % gegenüber Referenzbetonen. Der steigende Anteil an Betonsplitten und insbesondere an Betonbrechsanden übt einen wesentlichen Einfluss auf das Kriechen und Schwinden aus. Zurückzuführen ist das deutlich höhere Verformungsverhalten beim Brechsand auf den hohen Anteil an Zementstein und dem geringen E-Modul der rezyklierten Gesteinskörnungen. Die Untersuchungen von KERKHOFF und SIEBEL⁴⁵⁹ an hergestellten Rezyklaten an Ausgangsbetonen unterschiedlicher Festigkeitsklassen B 15 (\triangleq C 12/15) und B 45 (\triangleq C 35/45) ergaben Zementsteingehalte von insgesamt ~ 26 %. Im Betonbrechsand 0/4 mm betrug er ~ 31 %, im Betonsplitt 4/8 mm und 8/16 mm jeweils ~ 23 %.

Die Untersuchungen zum Langzeitverhalten ergaben bei Einsatz von 100 % rezyklierter Gesteinskörnungen eine Zunahme des Schwindverhaltens in Abhängigkeit der Festigkeit des Betonsplittbetons gegenüber des Referenzbetons nach 2,5 Jahren um 60 % - 115 % bzw. um 0,4 mm/m bis 0,75 mm/m. Das höhere Verformungsverhalten stellte sich beim Altbeton C 12/15 ein.

Das Kriechen des Betonsplittbetons mit 100 %-igem Rezyklateinsatz lag nach 2,5 Jahren um ca. 350 % über dem des Referenzbetons.

9.5.2.4 Dauerhaftigkeit

Mit Bezug auf Abb. 6.2, woraus hervorgeht, welche Expositionsklassen der Beton je nach Einbaulage zu erfüllen hat, sind die Kriterien Frostbeständigkeit und Karbonatisierung für das Langzeitverhalten relevant.

- **Frostbeständigkeit**

Durchgeführte Versuche zur Frostbeständigkeit an rezyklierten Gesteinskörnungen ergaben, dass sie nicht frostsicher sind. Betonsplittbetone hingegen, selbst bei einem Austausch der natürlichen Gesteinskörnungen zu 100 % gegen rezyklierte, zeigen einen ausreichenden Frostwiderstand.

In diesem Fall kann nicht von den Eigenschaften des Rezyklates auf die des Betonsplittbetons geschlossen werden. Um auf ggf. innere Gefügezerstörungen schließen zu können, wurde zudem der dynamische E-Modul bestimmt. Auch hier ergab sich keine Verminderung gegenüber des Referenzbetons⁴⁶⁰.

⁴⁵⁸ Mit Kriechen wird die zeitabhängige Zunahme der Verformungen unter Lasteinwirkung verstanden, die sich insbesondere bei Druckbelastung durch eine Gefügeumwandlung und Volumenverminderung des Betons äußert.

Mit Schwinden wird die Verkürzung des unbelasteten Betons infolge des allmählichen Austrocknens (Feuchtigkeitsabgabe und chemische Reaktionen während der Festigkeitsentwicklung) verstanden. [vgl. Scholz, Wilhelm; Hiese, Wolfram: Baustoffkenntnis, 2003, S. 282]

⁴⁵⁹ Kerkhoff, Beatrix; Siebel, Eberhard: Eigenschaften von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen, in: Betontechnische Berichte, Ausgabe 2003, Hrsg. Vdz Deutsche Zementindustrie, S. 53 ff.

⁴⁶⁰ ebenda. S. 47 f.

- **Karbonatisierung**⁴⁶¹

Der Karbonatisierungsfortschritt wird u. a. durch die Porosität des Zementsteines und der verwendeten Gesteinskörnung beeinflusst. Die Untersuchungsergebnisse zur Karbonatisierung weichen voneinander ab. Zum einen werden keine signifikanten Unterschiede zu den Karbonatisierungstiefen zwischen Referenz- und Betonsplittbeton festgestellt, und zum anderen wurden Zunahmen zwischen 10 % und 20 % beobachtet.⁴⁶²

9.5.3 Potenziale / Verfügbarkeit von Betonbruch zur Herstellung von Betonsplitten sowie deren Vermarktungschancen in der Baupraxis

Neben dem Wissen der bautechnischen Eigenschaften von Betonsplitten und den daraus hergestellten Betonen (Betonsplittbeton) ist es von wirtschaftlichem Interesse, in welchen Mengen / Größenordnungen Betonsplitt herstellbar ist.

Im Bundesdurchschnitt wird von ca. 44 – 49 % Betongehalt im Output ausgegangen.⁴⁶³

Unter dem Ansatz, dass jährlich ca. 55 Mio. t RC-Baustoffe produziert werden (vgl. Kap. 9.1), ist anzunehmen, dass ca. 24 – 27 Mio. t Betonsplitt pro Jahr im Output enthalten sind. Nach Angaben des KWTB wurden 2004 2,4 Mio. t rezyklierte Gesteinskörnungen zur Herstellung von Beton eingesetzt. D. h. nur ca. $\frac{1}{10}$ des erzeugten Betonsplitts wurde hochwertig verwendet.

Selbst abzüglich von etwa $\frac{1}{3}$ des Outputs, das aus dem Straßenbau stammt (s. Kap. 9.2), gehen immer noch ~ 13 bis 15 Mio. t ehemals hochwertig eingesetzter Baustoffe der Verwertung auf gleichem Niveau verloren.

Jährlich werden ~ 80 Mio. m³ bzw. ca. 180 Mio. t Betonprodukte erzeugt.⁴⁶⁴ Dafür werden ca. 140 Mio. t Gesteinskörnungen benötigt. Dementsprechend könnten nach gegenwärtigem Stand max. $\frac{1}{5}$ der natürlichen Gesteinskörnungen bzw. immerhin durch rezyklierte substituiert werden.

Die Herstellung von Betonsplittbeton nach Liefertyp 1 der DIN 4226-100 erfordert einen Betonsplittanteil von ≥ 90 %. Diese Anforderung erfüllt in jedem Fall der anfallende Betonabbruch aus Plattenbauten im Zuge krangeführter Rückbaumaßnahmen gefolgt von einer selektiven Anlieferung, Aufbereitung und Lagerung des erzeugten Betonsplitts auf der RC-Anlage.

Absolut sortenrein ist der Betonschutt aus rückgebauten Betonplatten (Deckenplatten, Innenwände, Trennwände, Loggiawände und -decken), wenn Tapeten und Kabel entfernt wurden und sie sich wieder in einer Art Rohbauzustand befinden. I. d. R. werden die demontierten Betonbauteile auf der Rückbaubaustelle vorgebrochen bevor sie einer RC-Anlage zugeführt werden. Die Außenwandplatten können diesen Grad der Sortenreinheit nicht erfüllen aufgrund der integrierten Wärmdämmschicht.

⁴⁶¹ Karbonatisierung: Bedingt durch das Eindiffundieren des in der Luft befindlichen CO₂ wird der Beton von außen nach innen im Laufe der Zeit neutralisiert: Das im Porenwasser des Betons befindliche Ca(OH)₂ reagiert mit dem CO₂ zu CaCO₃, wodurch der pH-Wert auf unter 9 absinkt. Der Schutz des Bewehrungsstahles im Beton wird dadurch nicht mehr gewährleistet. [Mettke, Angelika: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, 1995, S. 100 ff.]

⁴⁶² Roos, Frank: Ein Beitrag zur Bemessung von Beton mit Zuschlag aus rezyklierter Gesteinskörnung nach DIN 1045-1, in: Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau, TU München 2/2002, S. 47 f.

⁴⁶³ Hauer, Bruno; Ramolla, Stefanie et. al.: Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau – Teilprojekt B1, „Nachhaltig Bauen mit Beton“, Hrsg. DAfStb, Heft 572, 2007, S. 179 f.

⁴⁶⁴ vgl. Mettke, Angelika: Chancen und Potenziale baulicher Ressourcen, Vortrag auf den Workshop des UBA „Demografischer Wandel – eine Herausforderung für die Abfallwirtschaft?“, 14.11.2007 in Dessau

Bei Komplettabbrüchen findet unter praktischen Bedingungen keine Trennung der in der Außenwand enthaltenen Dämmstoffmaterialien statt. Insofern ist auch hier – wie sonst üblich – der Betonschutt inhomogen zusammengesetzt und bedarf einer weitergehenden sorgfältigen Selektierung im Zuge der Aufbereitung zur Herstellung des Liefertyps 1 oder 2.

In eigenen Studien an stationären RC-Anlagen wurde festgestellt, dass durch die Technik der Aufbereitung und Klassierung sortenreine Betonsplitte produziert werden können, aber aus betriebswirtschaftlichen Gründen die Unternehmen darin i. Allg. kein Interesse haben. Zwar werden Betonsplitte nachgefragt, aber nicht oder selten Ziegelsplitte. Um Befürchtungen auszuschalten, dass Ziegelsplitt auf Halde produziert wird, wird bevorzugt ein Mischgranulat erzeugt, das sich gut verkaufen lässt.

Im Übrigen verbessern definierte, gütegeprüfte RC-Baustoffe mit Prüfzeugnis / Zertifikat (z. B. RAL-RG 501/1) generell die Akzeptanz beim Kunden. Die gesicherte Eigen- und Fremdüberwachung in Verbindung mit dem Zertifikat stellen ohne Frage einen Marktvorteil aus qualitativer Sicht für RC-Baustoffe dar.

Unter der Annahme, dass in 2009 noch etwa 100.000 WE in Plattenbauweise vom Markt zu nehmen sind und bis zum Jahr 2016 weitere 250.000 Plattenbau-Wohnungen überschüssig werden und deshalb abzubrechen sind, würden ca. 28 Mio. t Betonabbruchschuttmassen entstehen. Im Mittel wäre dies jährlich bis 2016 ca. 3,5 Mio. t Betonschutt, der aus dem industriellen Wohnungsbau in den neuen Bundesländern anfällt.

Sofern sich ein Markt für das vorzugsweise zur Wiederverwendung geeignete Betonsortiment (Deckenplatten und tragende Innenwände) entwickelt und das verbaute Potenzial für die höchste Recyclingart ausgeschöpft wird, reduzieren sich die Anfallmengen des Bauschutts aus dem Plattenbau voraussichtlich um etwa 40 – 60 %. Beeinflusst wird die RC-Quote zum einen vom Gebäudetyp und zum anderen von der Qualität des Rückbaus.

Insgesamt betrachtet kann weiterhin von einer stabil anfallenden Betonschuttmenge ausgegangen werden. Einige Prognosen⁴⁶⁵ decken sich mit der eigenen⁴⁶⁶ dahingehend, dass sogar mit einem leichten Anstieg der Betonanfallmengen zu rechnen ist. Allerdings wird diese Entwicklung auch davon abhängig, ob Bestandssanierungen mehr gefördert werden als Abbruch- und Neubaumaßnahmen.

Eine erfolgreiche Markteinführung von rezyklierten Gesteinskörnungen zur Betonherstellung gelingt jedoch nur dann, wenn

- die geforderte Betonqualität gewährleistet wird und
- die Produktion keine höheren Kosten verursacht als

Beton, der mit natürlichen Rohstoffen hergestellt wird. Ergibt sich für den Kunden kein Preisvorteil bei gleicher Produktqualität, wird der Absatz trotzdem erschwert oder kommt nicht in Gang. Lokale Gegebenheiten sind dementsprechend entscheidend.

⁴⁶⁵ vgl. Hauer, Bruno; Ramolla, Stefanie et. al.: Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau – Teilprojekt B1, „Nachhaltig Bauen mit Beton“, Hrsg. DAfStb, Heft 572, 2007, S. 180

⁴⁶⁶ Mettke Angelika: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, Umweltwissenschaften Band 5, 1995, S. 70

Die Kombination von RC-Anlage und Betonproduktionen wird als eine geeignete Möglichkeit gesehen. Zumindest kann der Transport der Rezyklate von der RC-Anlage zur Mischanlage eingespart werden und die damit in Zusammenhang stehenden Kosten entfallen. Aber auch eine solche Konstellation hängt letzten Endes von den lokalen Bedingungen ab wie der Verfügbarkeit natürlicher Rohstoffe, existierender Betonwerke, Investitionsfreudigkeit / Neubaubedarf, etc.

9.6 Ökologisches Screening zu Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen

Jedwede Betonherstellung geht mit Belastungen der Umwelt einher. Im produktionsspezifischen Vergleich (Normal-) Beton mit Betonsplittbeton besteht zunächst der Unterschied in der Gewinnung natürlicher Gesteinskörnungen und der Aufbereitung der Gesteinskörnungen in RC-Anlagen. Bei der Aufbereitung von Stahlbetonabbruchmassen – so wie er bei Plattenbauten anzutreffen ist – wird zusätzlich Bewehrungsschrott gewonnen.

Da die Eignung von rezyklierten Gesteinskörnungen zur Verwertung im Beton in der Richtlinie des DAfStb⁴⁶⁷ und der DIN 4226-100⁴⁶⁸ verankert ist und Betonsplittbetone eine vergleichbare Dauerhaftigkeit zum Normalbeton aufweisen, wurde mehrfach in mehreren Forschungsprojekten der Frage der Umweltbelastung mit Hilfe von Ökobilanzen nachgegangen. Im Rahmen der Bilanzierung sind die klimarelevanten Umweltauswirkungen durch entsprechende Wirkungsindikatoren ermittelt.

In einem ökobilanzierten Vergleich von WEIL und JESKE⁴⁶⁹ wurde den Fragestellungen der Schonung natürlicher Gesteinskörnungen durch den Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen sowie des Energieverbrauches bei der Herstellung von RC-Beton im Vergleich zum Normal-(Referenz)beton nachgegangen und ermittelt, wo möglicherweise Optimierungspotenziale zur Umweltentlastung bei der Betonherstellung liegen.

Die Parameter des bewerteten RC-Betons sind definiert worden für 1 m³ Beton für den konstruktiven Bereich in C 20/25 (B 25) für die Expositionsklasse XC1 (Innenbauteil). Gegenübergestellt wurden drei in der Praxis erprobte / eingesetzte RC-Betonrezepturen zwei entsprechenden Rezepturen mit natürlichen Gesteinskörnungen (Kies und Splitt). Die RC-Betonrezepturen unterscheiden sich im Zementgehalt (240-340 kg/m³) und im Anteil der RC-Gesteinskörnung (35-50 Vol.-%). Beim Kiesbeton wurden die Mindestzementmenge 240 kg und beim Splittbeton wurde 270 kg Zement für 1 m³ Beton angesetzt.

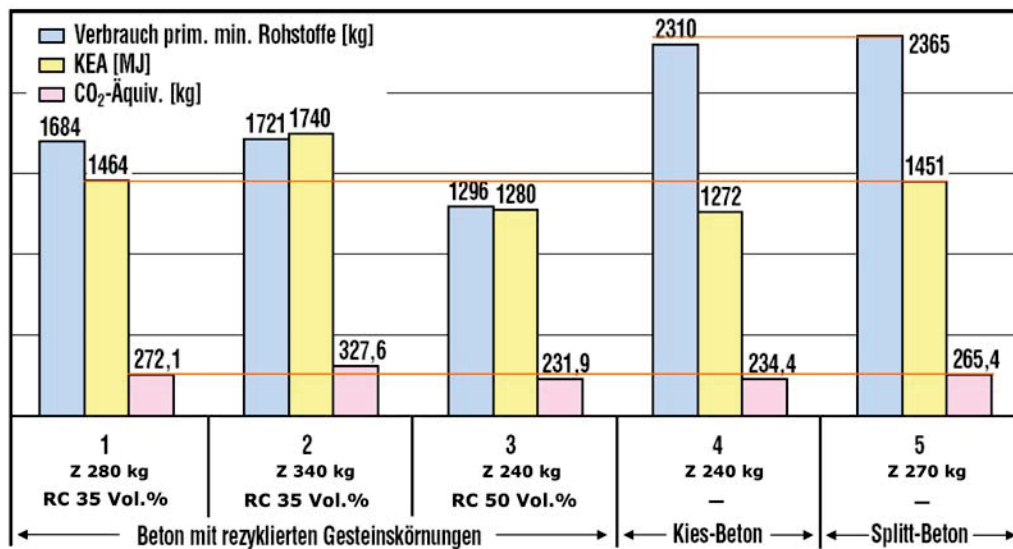
Als Indikatoren für die Wirkungsabschätzung wurden der kumulierte Energieaufwand (KEA), das Treibhauspotenzial (GWP) und der Verbrauch natürlicher Gesteinskörnungen bewertet. Der KEA als Leitindikator für energiebedingte Umweltbelastungen wurde um das GWP ergänzt, da bei der Zementherstellung Treibhausgase nicht nur aus dem Energieverbrauch, sondern auch aus der Entsäuerungsreaktion des Kalksteins stammen.

⁴⁶⁷ DAfStb-Richtlinie: Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100, Dezember 2004

⁴⁶⁸ DIN 4226-100: 2002-02 Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel, Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen

⁴⁶⁹ Weil, Marcel; Jeske, Udo: Ökologische Positionsbestimmung von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen, in: Tagungsunterlagen Fachtagung Recycling 2005, Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung, am 07.04.2005 in Weimar

Zur Erstellung der Sachbilanz wurden die Prozessketten für den RC-Beton und den Normalbeton modelliert, die sich – wie o. a. – nur durch den Aufbereitungsprozess zur Herstellung der RC-Gesteinskörnung unterscheiden. Die Sachbilanzergebnisse sind in Abb. 9.19 dargestellt.



Z Zementgehalt, RC Rezyklierte Gesteinskörnung

Abb. 9.19: Ergebnisse des ökobilanziellen Vergleichs von Betonen mit und ohne rezyklierter Gesteinskörnung⁴⁷⁰

Als Daten für die Gewinnung der Rohstoffe wurden angesetzt:

Tab. 9.9: Indikationswerte⁴⁷¹

Angaben beziehen sich auf 1,0 t Produkt	RC-Anlage nasse Aufbereitung	Kieswerke	Kalksplitt (ohne Sprengstoffeinsatz)
KEA (MJ)	55	34,5	44,6
GWP (kg)	3,7	2,2	3,1
VMR (kg)	-	1 001	1 000

Berücksichtigt wurden bei der Modellierung die Vorzerkleinerung und Beschickung, die Zerkleinerung, das Entfernen von Störstoffen und die Klassierung einschließlich der Verladung.

Die Ergebnisse für Betonsplittbeton (RC-Beton) stellen sich im Vergleich zum Normalbeton wie folgt dar:

- Trotz des erhöhten Zementeinsatzes (bis um 40 % gemäß Versuch 2) und des daraus resultierenden höheren Primärrohstoffverbrauches wird durch den Einsatz von RC-Gesteinskörnung in

⁴⁷⁰ Weil, Marcel; Jeske, Udo: Ökologische Positionsbestimmung von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen, in: Tagungsunterlagen Fachtagung Recycling 2005, Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung, am 07.04.2005 in Weimar, S. 6

⁴⁷¹ Jeske, Udo; Buchgeister, Jens; Schebek, Liselotte; Weil, Marcel: Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung – eine Ökobilanz. In: NACHRICHTEN – Forschungszentrum Karlsruhe, Jahrgang 36, 4/2004, S. 222

Abhängigkeit des Anteils der Rezyklate und des Zementgehaltes der Verbrauch an natürlicher Gesteinskörnung um 24 – 44 % reduziert.

- Betonsplittbetone weisen kaum bis deutlich höhere Energieverbräuche auf. Die GWP-Werte (CO₂-Äquiv.) sind etwas höher.

Das Treibhauspotenzial ist dabei nennenswert, nämlich zu 95 % auf die Zementherstellung zurück zu führen, zu 2 % auf die Herstellung der RC-Baustoffe, zu 1 % auf die Primärrohstoffe und je 1 % entfallen auf die Transporte der RC-Splitt (20 km) bzw. Kiese / Sande (20 km) und Flugasche (120 kg).

STENGEL und SCHIEßL⁴⁷² zeigen auf, dass die Herstellung von Zement an allen Wirkungsindikatoren (GWP, Ozon-Abbau-Potenzial (ODP), Versauerungspotenzial (AP) und das Überdüngungspotenzial (NP)), bis auf das POCP (Sommersmog), einen Anteil von ~ 85 bis 95 % hat.

Ein Ansatzpunkt zur Optimierung der RC-Betonherstellung besteht deshalb darin, den Zementgehalt in Richtung Mindestzementgehalt zu verringern bspw. durch den Einsatz von Flugasche und Betonverflüssiger.

Die Untersuchungen machen deutlich, dass mit Betonsplittbeton keine klimarelevanten Entlastungen entstehen. Durch die Verwertung von rezyklierten Gesteinskörnungen werden jedoch natürliche Ressourcen geschont wie auch der Flächenverbrauch reduziert.

9.7 Diskussion der Ergebnisse zur Herstellung von RC-Beton, Ausblick

Bauabfälle stellen mit knapp 60 % mengenmäßig den größten Anteil am gesamten Abfallaufkommen dar. Von den jährlich im Durchschnitt angefallenen 78,6 Mio. t Bau- und Abbruchabfällen der Fraktionen Bauschutt, Straßenaufbruch und gemischte Bau- und Abbruchabfälle (Baustellenabfälle) wurden pro Jahr ca. 55,1 Mio. t (70,1 %) in RC-Anlagen aufbereitet bzw. recycelt und 14,6 Mio. t direkt verwertet.

Die seit Jahren bemerkenswert hohen Verwertungsquoten tragen in deutlichem Maße zur Ressourcenschonung bei. Insbesondere im Straßen- und Landschaftsbau wurden erhebliche Größenordnungen mineralischer Rezyklate verbaut von ansonsten erforderlichen primären Baurohstoffen.

Die Verwertung hat ordnungsgemäß und schadlos zu erfolgen und ist deshalb an bautechnische und umweltverträgliche Anforderungen je nach Einsatzzweck und –gebiet auszurichten. Hinsichtlich der bautechnischen Anforderungen existiert für ihre Verwertung und Qualitätssicherung ein Vorschriften-system, das durch zusätzliche Regelungen für RC-Baustoffe ergänzt wird. Im Hinblick ihres Auslaug-verhaltens bestehen in den Bundesländern die unterschiedlichsten Regelungen zur Verwertung. Neben länderspezifischen Regelungen orientiert sich die Mehrheit der Länder an den Vorgaben der LAGA M 20. D.h. für den größten Abfallmengenstrom in Deutschland bestehen keine bundeseinheitlichen Regelungen. Hinzu kommt, dass in einigen Bundesländern einzelne RC-Baustoffe nach ihrer

⁴⁷² Stengel, Thorsten; Schießl, Peter: Ressourcenschonung und Umweltentlastung durch den Einsatz von Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung am Europäischen Patentamt München, Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 11 (2007)

Aufbereitung als Produkt anerkannt sind (gekoppelt an bestimmte Voraussetzungen), wie z.B. in Baden-Württemberg oder Nordrhein-Westfalen. In anderen Bundesländern endet erst die Abfalleigenschaft nachdem der RC-Baustoff verbaut ist. Dieser Zustand ist nicht hinnehmbar / nicht haltbar, denn es besteht keine Rechtssicherheit über die Verwertungsanforderungen, die Wettbewerbsbedingungen sind verzerrt und die administrativen Vorgaben für Wirtschaft und Verwaltung weichen voneinander ab.

Vor diesem Hintergrund arbeitet das Bundesumweltministerium an einer Verordnung, der Ersatzbaustoffverordnung, mit der eine Harmonisierung der Regelungen auf Bundesebene verfolgt wird. Auf Basis des 1. Arbeitsentwurfes der „Verordnung zur Regelung des Einbaus von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken und zur Änderung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung“ im November 2007 wurde eine Diskussionsgrundlage geschaffen.

Im Zusammenhang der Regelungen zum vorsorgenden Grundwasser- und Bodenschutz und den abgeleiteten strengeren Grenzwerten für Schadstoffkonzentrationen, unter Verwendung neuer Prüfmethoden zur Eluatherstellung, wird seitens der Wirtschaft von drastisch sinkenden Verwertungsquoten ausgegangen, so dass es zu einer Verschiebung der riesigen Stoffströme auf Deponien geben wird. Diskutiert werden v.a. die Grenzwerte der Eluate für Sulfat und Chlorid sowie der neue Parameter Vanadium.

Die Untersuchungen zum Auslaugverhalten unter Beachtung des Versickerungsverhaltens sind noch nicht abgeschlossen; wissenschaftliche Diskussionen sind noch im Gange. Ein allgemeiner Diskussionspunkt ist bspw. der, dass wenn Trinkwasser, welches die Werte der Trinkwasserverordnung einhält, direkt ins Grundwasser gelangt, eine sanierungspflichtige Grundwasserverunreinigung hervorgerufen könnte. Insofern sollten die Werte des Geringfügigkeitsschwellenkonzepts (GFS) gegenüber regionalen geogen vorhandenen Hintergrundbelastungen und der Anforderung der Trinkwasserverordnung nochmals geprüft werden.

Im Hinblick auf das Verwertungs-niveau besteht in Deutschland generell ein Defizit. Vor allem betrifft dies den Betonbruch aus dem Hochbau - Beton ist ein weit verbreiteter Konstruktionswerkstoff, der erst durch den wiederholten Einsatz in Form von rezyklierter Gesteinskörnung im Betonbau eine gleichwertige Verwertung erfährt. Erst dadurch wird wirklich der Stoffstromkreislauf geschlossen (closed-loop). Außerdem kann davon ausgegangen werden, dass i.d.R. Beton, auch RC-Beton, bezüglich seines Auslaugverhaltens unbedenklich ist.

Bis auf wenige Demonstrationsvorhaben im Rahmen von Forschungsvorhaben wie z.B. dem Neubau des Verwaltungsgebäudes der DBU in Osnabrück (Baujahr 1994/95) oder dem Hundertwasserhaus in Darmstadt (Baujahr 1998/2000) sind bisher keine nennenswerten Anwendungen von RC-Betonen im konstruktiven Bereich in Deutschland realisiert worden. Als Hauptursache sind neben betriebswirtschaftlichen Gründen, bspw. infolge zusätzlicher Investitionen zur Aufbereitung mineralischer Rezyklate wie z.B. für Aufschlussverfahren, die veränderten Eigenschaften von RC-Betonen / Betonsplittbetonen im Vergleich zum Normal-(Referenz-)beton zu nennen. Aus den Grundanforderungen der Herstellung von RC-Betonen ergeben sich höhere Aufwände resultierend aus den qualitativen Anforderungen der Körnung und aus der Verarbeitung wie u.a. dem Vornässen und höherem Bindemittelgehalt. Neben den Betonsplitten (> 4 mm), die durch das ursprüngliche Gesteinskorn und dem

anhaftenden Zementstein gekennzeichnet sind, fallen Betonbrechsande (0-4 mm) an. Zur Aufbereitung der Betonbrechsande sind inzwischen – ebenso wie zum Betonsplitt – intensive Untersuchungen durchgeführt worden mit dem Ziel, sinnvolle Verwertungspfade zu erforschen. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass Betonbrechsande als sekundäre Roh- und Brennstoffe bei der Herstellung des Portlandzementklinkers, als Zementbestandteil neben dem Portlandzementklinker, als Zusatzstoff oder als Gesteinskörnung zur Herstellung von Beton verwendet werden können. Die Verwertung ist jedoch mit einer weiteren Behandlung der Brechsande verbunden. Ein vielversprechendes Anwendungsgebiet für aufgemahlene Brechsande zu Mineralmehlen scheint der selbstverdichtende Beton zu sein wie auch die Herstellung von Wandbausteinen.

Die ökobilanzielle Bewertung zeigt, dass primäre Rohstoffe bei der RC-Betonherstellung eingespart werden, aber der Herstellungsprozess insgesamt betrachtet, keine signifikanten Umweltentlastungen gegenüber Referenzbetonen aufweist.

Im Sinne des Nachhaltigkeitsansatzes und hinsichtlich der in absehbarer Zeit eingeschränkten Verwertungsmöglichkeiten ist es notwendig, den Einsatz von RC-Baustoffe entsprechend ihrer qualitativen Parameter in Betonen weiter zu fördern.

Gerade der anfallende Betonabbruchschutt aus Plattenbauten ist dafür besonders geeignet. Aber auch hier gilt der Grundsatz zur Erzeugung qualitativer RC-Baustoffe: des selektiven Abbruchs, der getrennten Erfassung und Getrennthaltung der Betonschuttmassen am Entstehungsort. Auf diese Weise werden optimale Voraussetzungen für deren Aufbereitung in RC-Anlagen geschaffen. Eine nachträgliche Separierung ist zumeist mit einem erheblichen Mehraufwand oder mit Qualitätseinbußen der RC-Baustoffe verbunden.

Im Zuge bevorstehender eigener Forschungsarbeiten im Verbund mit dem IFEU-Institut und der Wirtschaft an einem „Leuchtturmprojekt“ zum Einsatz von Betonsplittbeton soll die Akzeptanz für RC-Baustoffe erhöht und Hemmnisse in der Praxis im Bereich des konstruktiven Betonbaus abgebaut werden.

10 Moderne, zukunftsorientierte Entwicklungen zur Abfallvermeidung im Hochbau

Nachfolgend wird auf moderne, zukunftsorientierte Entwicklungen zur Abfallvermeidung im Hochbau hingewiesen [12], [20], [21], [30].

10.1 Einleitung

In der Auseinandersetzung mit ökologischen Aufgabenstellungen sind Strategien gefragt, die sich in erster Linie auf den vorsorgenden Umweltschutz und erst in zweiter Linie auf eine Nachsorge ausrichten (vgl. Abb. 2.4).

Jede bauliche Aktivität sowie das Betreiben eines Bauwerks / einer Immobilie beeinflusst die Umwelt (vgl. Kap. 8.2). Deshalb ist das Beachten von ökologischen Gesichtspunkten unverzichtbar geworden. Eine Reduzierung der ökologischen Betrachtungsweise auf lediglich die richtige Baustoffauswahl und Bauart widerspricht jedoch dem integralen Ansatz des ökologischen Bauens.

Somit ergibt sich die Fragestellung: Welche Bauten sind nachhaltig / zukunftsorientiert und tragen zur Abfallvermeidung im Hochbau bei?

Für die Nachhaltigkeit im Baubereich lassen sich exemplarisch folgende Schutzziele nennen:

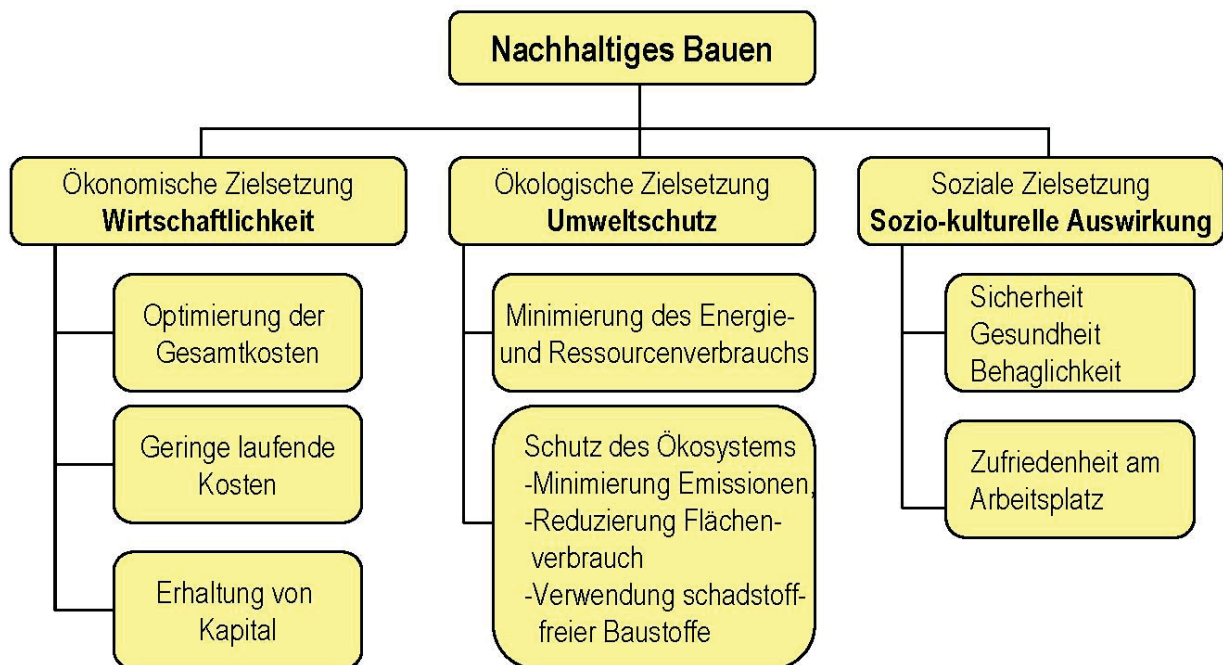


Abb. 10.1: Beispielhafte Nennung von Zielen für das Nachhaltige Bauen⁴⁷³

⁴⁷³ vgl. Drei-Säulen-Konzept des nachhaltigen Bauens unter <http://www.bbr.bund.de>, Vogdt, Frank: Bewertung der Nachhaltigkeit von baulichen Maßnahmen, Erstbewertung entsprechend des Leitfadens Nachhaltiges Bauen des Bundesministeriums für Verkehr, Bauen und Wohnungswesen, PP-Präsentation; Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf, Teil 0 Zielstellung und Zusammenfassung der wissenschaftlich-technischen Ergebnisse des Forschungsvorhabens, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, 2008, S. 9

Das Spektrum der verschiedenen Dimensionen des nachhaltigen Bauens zeigt somit die Komplexität und Interaktion auf. Im Vordergrund steht für alle Lebenszyklusphasen der Gebäude eine Minimierung des Verbrauchs von Energie und Ressourcen. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit ist jeder einzelne Planungs- / Ausführungsschritt zu hinterfragen und nicht nur die Gesamtwirtschaftlichkeit des Vorhabens. Daneben spielen der Gesundheitsschutz, die Behaglichkeit und das Design einer v.a. Wohnimmobilie eine wichtige Rolle.⁴⁷⁴

Das bedeutet, dass alle Kriterien in jedem Lebenszyklus (vgl. Abb. 8.6), wie Gewährleistung der Qualität und Dauerhaftigkeit / Sicherheit, Funktionalität, Wirtschaftlichkeit und das Design mit den Kriterien Gesundheit und Umweltverträglichkeit zu vereinen sind. Dies ist bei den spezifischen Anforderungen und Rahmenbedingungen eines jeweiligen Vorhabens in ausgewogener Weise zu berücksichtigen. Zu Beginn der Planung einer Baumaßnahme ist die Einwirkungsmöglichkeit auf alle Dimensionen, wie auch auf die der Kosten, am größten.

Die Besonderheit einer Immobilie im Vergleich zu anderen industriellen Produkten besteht in ihrer Langlebigkeit und zum anderen prinzipiell in ihrer Immobilität.

10.2 Aufgaben und Zielstellungen für ein sinnvolles, modernes und ökologisch orientiertes Bauelemente- und Baustoffrecycling

Das hohe Bauschuttaufkommen in Deutschland (vgl. Kap. 9.1, Abb. 9.4) und der Anfall an gebrauchsfertigen Betonelementen bei krangeführten Rückbauten (vgl. Kap. 3 und 4) machen deutlich, dass dem Material- und dem Produktrecycling eine hohe Bedeutung beizumessen ist.

Seit dem Inkrafttreten des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz gilt auch im Gebäuderückbau das Gebot zur Vermeidung von Abfällen. Vermeidungsmöglichkeiten an der Quelle im Hinblick auf die Verringerung der Abfallmengen und ihrer Gefährlichkeit werden im Kap. 2.2 diskutiert. Darüber hinaus werden folgende Aufgaben für das Material- und Produktrecycling gesehen: Hochwertige Recyclingbaustoffe, die bspw. beim Shreddern von Stahlbetonelementen erzeugt werden und zurückgebaute gebrauchsfertige Betonelemente stellen ein Wirtschaftsgut dar, dessen Bedeutung künftig weiter steigen wird. Neue Maßstäbe bei der Abfallverwertung sind mit dem Bundes-Bodenschutzgesetz, der Bodenschutz- und Altlastenverordnung und dem Wasserhaushaltsgesetz, die bei der Verwertung Priorität vor dem Abfallrecht haben, gesetzt. Verschärfende Verwertungsvorgaben für den ungebundenen Einsatz von RC-Gesteinskörnungen im Straßen- und Wegebau werden voraussichtlich beschränkt, was zum Anwachsen von zu deponierenden Massen führen würde. Angesichts dieser Veränderungen könnte der Recyclingpfad im Hochbau eine ressourcenrelevante Alternative sein. Obwohl für die Verwertung von RC-Gesteinskörnungen im Betonbau technische Regelwerke und Richtlinien vorliegen, ist der Einsatz von RC-Beton im Hochbau kaum über Anwendungen im Rahmen von Forschungs- und Pilotvorhaben hinausgegangen. Es besteht ein Defizit in der hochwertigen Verwertung, denn die Qualität der RC-Gesteinskörnungen wird nicht optimal ausgenutzt. Deshalb spricht man auch vom sog. „Downcycling“.

⁴⁷⁴ vgl. Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Hrsg. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr-, Bau- und Wohnungswesen, Januar 2001

Dieser Problemlage soll u.a. im Verbundprojekt an einem konkreten Bauvorhaben mit ca. 500 m³ RC-Betoneinsatz begegnet werden, um die nachhaltige Entwicklung im RC-Betonbau auf breiter Ebene zu etablieren. Um den Kostenfaktor gering zu halten, wird die Effizienz geeigneter Rückbau- und Aufbereitungsverfahren und deren Beeinflussung auf die Qualität der Materialchargen bewertet.

Die Güteüberwachung stellt ein geeignetes Instrumentarium dar, aber sollte in Deutschland vereinheitlicht werden.

Die stoffliche Verwertung von ehemaligen Betonelementen sichert zwar den Verbleib im Wirtschaftskreislauf aber nur auf einem niedrigen Niveau der Wertschöpfung (auch die im Beton eingesetzten RC-Gesteinskörnungen), denn die ursprüngliche Gestalt des Bauprodukts, der Energie- und Arbeitsaufwand sowie der ihnen latent gespeicherte Verbrauch an Umwelt (Flächenverbrauch, Energie, Emissionen etc.) gehen verloren.

Folglich ist der Anteil der in Kreisläufen einzuspeisenden Mengen mit geringerem Anforderungsniveau (insbesondere das Downcycling) nur akzeptabel, wenn ein Produktrecycling nicht sinnvoll ist oder die Voraussetzungen dafür a priori nicht gegeben sind.

Das Produktrecycling weist eine deutlich positivere Bilanz zur Ökonomie und Ökologie im Vergleich zum Materialrecycling (Baustoffrecycling) auf. Außerdem wird in vollem Umfang dem Vermeidungsgrundsatz entsprochen. Gleichwohl setzt die Wiederverwendung von Bauprodukten in Gänze (Produktrecycling) eine zukunftsorientierte Entwicklung von neuen Verbindungstechniken voraus, um die nächste Recyclingstufe (Mehrfachnutzung) zu garantieren. Das Bauen mit neuen Baustoffen und Baumaterialien in größerem Umfang lässt sich so reduzieren, denn 85 % aller in Deutschland verwendeten mineralischen Rohstoffe werden zu Baustoffen und Baumaterialien⁴⁷⁵.

Ein weiteres Ziel ist, den Reststoff- und Reststoffmischanteil bei Rückbauten und Abbrüchen zu minimieren. In diesem Zusammenhang spielt u.a. der recyclinggerechte, abfallvermeidende Baustellenbetrieb wie die Wertstoffseparierung aus Baumischabfällen und Getrennthaltung in separaten Containern eine Rolle.

Das übergeordnete Ziel besteht also darin, von einer Nachsorgestrategie wegzukommen, sich einer marktwirtschaftlichen, ökologisch orientierten und damit zukunftsweisenden Wirtschaft zuzuwenden.

Dies bedeutet, dass Nachhaltigkeitsaspekte bei der Planung, Ausführung, Nutzung und dem Rückbau von Betonbauwerken zu berücksichtigen sind. Dazu zählen:

- die Integration der Nachhaltigkeitsaspekte (ganzheitliche Betrachtung) in bestehende Planungs- und Ausführungsgrundsätze,
- die Definition der Planungsziele in Hinblick auf optimierte Stoffflüsse für Bauprodukte in allen Lebenszyklen,
- die frühzeitige Abstimmung der Statik hinsichtlich rückbaubarer Konstruktionsteile,
- die Weiterentwicklung von De- und Remontagetechnologien,
- die Weiterentwicklung und Normierung von Konstruktionsvorschriften für demontable Bauten,

⁴⁷⁵ Nachhaltiges Bauen und Wohnen – Ein Bedürfnisfeld für die Zukunft gestalten, Hrsg. Umweltbundesamt, Nov. 2008, S. 10

- der Einsatz und die Ausnutzung von langlebigen ökologisch unbedenklichen Baumaterialien und –produkten,
- die Erarbeitung von Standards für gebrauchte Betonbauelemente in Vorbereitung ihrer sekundären Nutzung,
- die Entwicklung von Wiederverwendungsprojekten mit Verwendung gebrauchter Betonelemente in modularen Systemen im Sinne einer Rückbaufähigkeit,
- die Entwicklung anpassungsfähiger Ausbausysteme (Fußbodenausbildung, Leitungs-, Medienführung, Trennwände) unter Berücksichtigung aktueller bauphysikalischer Anforderungen (an den Schallschutz, Wärmeschutz, Brandschutz),
- die Berücksichtigung nutzergerechter Räume u.a.m.⁴⁷⁶

Die übergeordnete Zielsetzung besteht darin, Ressourcen intelligenter und effizienter zu nutzen.

Eine Schlüsselposition bei Teilrückbaumaßnahmen von Plattenbauten nimmt der krangeführte Rückbau ein. Von Vorteil ist dies ohnehin, um Bauschutt sortenrein an der Anfallstelle zu erzeugen (Qualitätssicherung für RC-Baustoffe) u./o. kontaminierte Bauteile selektiv zu erfassen.

Wiederverwendungen oder Weiterverwendungen von Betonelementen der einstigen Rohbaukonstruktion der DDR-Bauten sind noch eher der Ausnahmefall, außer es handelt sich um Demonstrationsvorhaben. Allerdings wird auch zunehmend beobachtet, dass über die Rückbauunternehmen, demontierte Betonelemente, überwiegend Deckenplatten, aber auch Außen- und Innenwände, direkt an den Kunden abgegeben werden.

Mit der Wiederverwendung von historischen Bauteilen hingegen verbindet sich eine jahrhundertealte Tradition der Verwertung und Wertschätzung. Dabei ist das größte Kapital der historischen Baumaterialien deren Alter. Ein besonders ästhetischer Aspekt wird im Besonderen darin gesehen, regionaltypische Bauteile zu erhalten bzw. zu würdigen (vgl. Kap. 9.4).

Wiederverwendungen setzen eine sorgfältige ingenieurtechnische Vorplanung voraus. Sie lässt sich in einzelne Bewertungsphasen und Arbeitsschritte gliedern (vgl. Abb. 7.1, Tab. 7.1).

Ausgangspunkt jeder Wiederverwendungsmaßnahme bildet eine Bestandsaufnahme der verbauten Bauelemente des zum Rückbau anstehenden Gebäudes. Nach der Beurteilung der Wiederverwendungseignung wird empfohlen, eine Elementestückliste anzufertigen. Als Hilfsmittel eignen sich die erarbeiteten Elementekataloge⁴⁷⁷.

Durch den sukzessiven Aus- und Rückbau in abnehmender Reihenfolge der Zugänglichkeiten zu den Ausbau- und Rohbauteilen wird

- eine sortenreine Trennung der Baumaterialien erreicht,
- eine Eliminierung kontaminierter Materialien und Bauteile am Anfallort möglich,
- eine Werterhaltung und damit eine Wieder- und/oder Weiterverwendung ermöglicht.

⁴⁷⁶ Hegger, Josef; Schneider, Hartwig; Brunk, Marten; Zilch, Konrad et.al.: Ressourcen- und energieeffiziente, adaptive Gebäudekonzepte im Geschossbau – Teilprojekt C Nachhaltiges Bauen mit Beton, 2007, S. 318 ff.; Arbeitshilfen Recycling - Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Bauabfällen bei Planung und Ausführung von baulichen Anlagen, Hrsg. Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, 1998, S. 14 ff.

⁴⁷⁷ Mettke, Angelika (Hrsg.) Elementekatalog, Übersicht: Elementesortiment des Typs P2, 2003; Mettke, Angelika (Hrsg.) Elementekatalog, Übersicht: Elementesortiment des Typs WBS 70 am Beispiel Gebäudetyp WBS 70/11, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, 2007

Eine deutliche Steigerung der Wiederverwendung von Betonelementen im Hausbau setzt die Weiterentwicklung recyclingfähiger Konstruktionen voraus.

Aber weder bei neu zu errichtenden Gebäuden mit gebrauchten Betonelementen noch bei Gebäuden im Bestand ist nachhaltiges Planen und Bauen als feststehendes, starres Konzept zu verstehen. Vielmehr sind innovative und spezifische Konzepte gefragt mit der dringlichsten Zielsetzung, Energie einzusparen sowohl in der Nutzungsphase aber auch bereits bei der Gesteherung.

10.3 Aspekte und grundsätzliche Anforderungen an recyclinggerechte Konstruktionen

„Funktional flexible, Ressourcen schonende, die Umwelt nicht belastende sowie Baurestoff vermeidende Gebäude zu planen, zu bauen und zu betreiben sind heute das Ziel aller Baumaßnahmen.“⁴⁷⁸

Recyclinggerecht konstruieren und demontabel bauen erfolgt, um während der Nutzungsdauer des Gebäudes anpassungsfähig zu sein; anpassungsfähig an neue Nutzungsanforderungen, soziale Veränderungen, andere Standorte; erweiterbar, mobil, wandelbar, austauschbar, verkleinerbar unter Beibehaltung der Wertschöpfung der Bauteile in ökologischen Regelkreisen.

Vor allem Industrie- und Gewerbebauten müssen solche Forderungen erfüllen. Die auslösenden Faktoren sind vielfältig. Wesentlich ist die immanente Divergenz zwischen der hohen normativen Nutzungsdauer von Gebäuden einerseits und der Kurzlebigkeit der Ausrüstungen andererseits. Die Zyklen mit unterschiedlichen Funktionsanforderungen zwischen zwei Nutzungsphasen werden immer kürzer.

Aber auch im Wohnungsbau wird der Bedarf gesehen, wenn die Wohnungen an veränderte Familienverhältnisse, z.B. nach Auszug der Kinder, anzupassen sind und sich der Grundriss und Wohnungsgröße ändern sollen. Kann dies unproblematisch durchgeführt werden, so gewinnt das Haus an Attraktivität und Wert (benutzerfreundliches und seniorengerechtes Design). Zudem lassen sich die Anpassungskosten durch die Planung im Voraus senken.

Signifikant für den langfristig funktionierenden umweltgerechten Kreislauf sind die Konstruktionsart und der Bauprozess selbst. Im Mittelpunkt steht dabei die Werterhaltung, die u.a. gegeben ist durch

- die Gewährleistung der Flexibilität der Umnutzung: (leicht lösbare Verbindungs- / Fügetechnik; z.B. Schraub- oder Steckverbindungen, gut zugänglich),
- die konstruktive Trennung der unterschiedlich beanspruchten Bauteile nach ihrer Lebensdauer (Trennung von Tragkonstruktion, raumbildendem und technischem Ausbau),
- einheitliche Lebensdauer für Bauteile gleicher Funktion.⁴⁷⁹

⁴⁷⁸ Unter dem Dach des Forschungsverbundes BayFORREST entstand der Leitfaden „Nachhaltigkeitsaspekte bei Neu- und Bestandsbauten“, 2006

⁴⁷⁹ weitergehende Aussagen trifft Willkomm, Wolfgang; Weber, Helmut: Recyclinggerechtes Konstruieren im Hochbau, Recyclingbaustoffe einsetzen, Weiterverwendung einplanen, Köln, S. 51 ff.; vgl. Schießl, Peter; et.al.: Nachhaltigkeitsaspekte bei Neu- und Bestandsbauten, Leitfaden, 2006, S. 22

Die umwelt- und gesundheitsverträgliche Produktivität ist u.a. gesichert durch:

- die Erhöhung und den bevorzugten Einsatz von schadstofffreien RC-Materialien und –produkten,
- reststoffarme Konstruktionen und Bauprozesse (Einschränkung auf das unvermeidliche Mindestmaß).

Demzufolge sind eindeutige Angaben zu den Inhaltsstoffen und zur Zusammensetzung der Bauprodukte von den Herstellern anzufordern.

Desgleichen sind die Grundlagen und Gestaltungsregeln interessant, die in der VDI-Richtlinie 2243 an die „Recyclingorientierte Produktentwicklung“⁴⁸⁰ gestellt werden (Recyclingpass).

Die Forderungen, die an die Strategie beim Entwickeln von recyclinggerechten Konstruktionen im Hochbau gestellt werden, sind in Abb. 10.2 zusammengetragen⁴⁸¹.

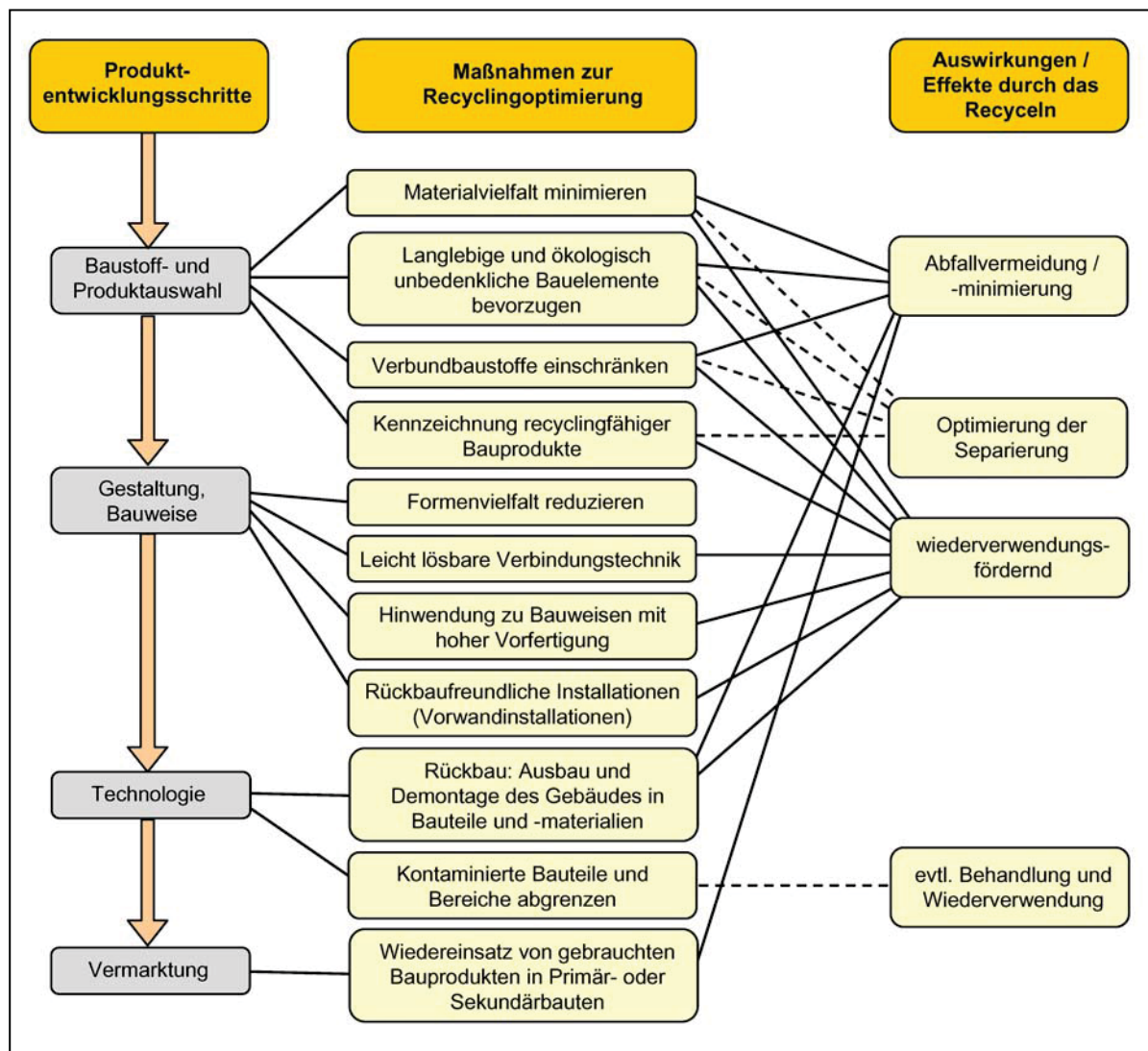


Abb. 10.2: Forderungen an die Strategie beim Entwickeln von recyclinggerechten Konstruktionen im Hochbau

⁴⁸⁰ VDI-Richtlinie 2243: 2002-07 Recyclingorientierte Produktentwicklung, VDI-Verlag Düsseldorf

⁴⁸¹ Abb. 10.2 wurde in Analogie der Forderungen zur Recyclingstrategie beim Entwickeln von Kunststoffprodukten nach KÄUFER; s. Fußnote 475, S. 103

Recyclinggerechte Konstruktionen sind so zu projektieren, dass die Konstruktionen problemlos in ihre Einzelteile zerlegbar sind, wobei die Bauelemente selbst unbeschädigt bleiben und alternativ sowie ergänzend zu den Primärbaustoffen und –produkten Rezyclate vorzugsweise RC-Produkte eingesetzt werden bei minimalem Reststoffanteil auf den gesamten Herstellungs- bzw. Gestehungsprozess.

Eine weitere Forderung besteht darin, dass demontable Konstruktionen nicht teurer sein dürfen als die in der klassischen Bauart hergestellten.

Die Prototypen aus Holland haben gezeigt, dass dies durchaus erreichbar ist⁴⁸².

Die entscheidenden Schritte für ein recyclinggerechtes Konstruieren fallen – wie o.a. – mit der Aufgabenstellung unter Mitverantwortung des Auftraggebers und in der Planungsphase.

Den Abschluss dieses Kapitels bildet die Darstellung der nachhaltigen Kreislaufführung mineralischer Baustoffe, worin das recyclinggerechte Konstruieren integriert ist (Abb. 10.3).



Abb. 10.3: Nachhaltige Kreislaufführung mineralischer Baustoffe⁴⁸³

⁴⁸² Maes, Roland: Neuere Entwicklungen im Fertigteilbau in den Beneluxländern, in: Betonwerk und Fertigteiltechnik, Fertigteilbauforum 14/84, 1984, S. 6-8

⁴⁸³ Schießl, Peter; Stengel, Thorsten: Nachhaltige Kreislaufführung mineralischer Baustoffe, PP-Präsentation anlässlich Fachgespräch Ökobau, 10.03.2008

10.4 Anwendungsbeispiele - Auswahl

Für Wiederverwendungen gibt es – über Tab. 7.3 hinausgehend - auf unterschiedlichen Ebenen Beispiele, die nachfolgend erwähnt werden und als Multiplikator dienen:

- Wiederverwendung historischer Bauteile

Beispiel: Archäologischer Wiederaufbau der Dresdner Frauenkirche

Von den fast 10.000 aus den Trümmern geborgenen wiederverwendungsfähigen Sandsteinen sind eine Vielzahl im steinsichtigen Bereich wieder eingebaut worden; die übrigen wurden in der Hintermauerung verwendet.

- bauteilnetz Deutschland

Unter dem Dachverband „bauteilnetz Deutschland“ haben sich die Bauteilbörsen Bremen, Hannover, Giessen, Augsburg und Berlin-Brandenburg mit Sitz in Luckenwalde vernetzt.

Das Ziel der Bauteilbörsen besteht darin, Werte zu erhalten und die Nutzungsdauer für gebrauchte Bauelemente zu verlängern.

Beispiel: Bauteilbörse Bremen

Angeboten werden Außen- und Innentüren, Fenster, Fliesen, Dielung, Sanitärkeramik u.a.m.

Angebote und Nachfragen werden in eine Datenbank eingespeist, bei Käuferinteresse kann das Bauteil im Bauteillager besichtigt werden oder die Bauteilbörse stellt den Kontakt zum Anbieter her.

(www.bauteilboerse-bremen.de)

Beispiel: Bauteilbörse Berlin-Brandenburg

Das Angebotsspektrum reicht von historischen Baustoffen bis zu Betonelementen.

(www.bauteilboerse-berlin-brandenburg.de)

Beispiel: Thüringer Bauteilbörse

Über Kontakt- und/oder Gesuchanfrage werden Betonelemente (Wände, Decken) aber auch Fenster, Türen, Tore, Aufzugsanlagen u.v.a.m. vermittelt.

(www.bauteilboerse-thueringen.de)

- Wiederverwendung vorgefertigter Holzbausysteme

Auf dem Markt befinden sich demontable Holzbausysteme, in Holzskelettbau, -ständerbau und Holztafelbauweise. Mit neuen Elementen des gleichen Bausystems können remonteerte Häuser komplettiert werden.

- Wiederverwendung von Betonbauteilen

Beispiel: Umsetzung von in Montagebauweise errichteten Hallen

Obwohl die Konzeption der Bauserien eingeschossige und mehrgeschossige Mehrzweckgebäude nicht unter dem Aspekt der Demontierbarkeit entwickelt wurde, sondern mit dem Ziel, die Betonierarbeiten auf der Baustelle zu minimieren, führte die Forderung der Vollmontagefähigkeit zu konstruktiven Lösungen und Verbindungstechniken, die Aspekte der Demontierbarkeit beinhalten und die zum großen Teil als demontagefreundlich gewertet werden. Eigene Untersuchungen belegen dies. Des Weiteren siehe Tab. 7.3.

- Wiederverwendung von Bauteilen demontabler Gebäude

In Wien wurde vor 30 Jahren ein dreigeschossiges Bürogebäude, das nach demontablen Aspekten errichtet wurde, schon nach kurzer Nutzungsdauer (12 Jahre) demontiert und in 40 km Entfernung in Form eines kleineren Bürogebäudes und zweier Schulen remontiert. Die Kosten beliefen sich auf etwa die Hälfte entsprechender Neubauten.

Zu einer Kostenersparnis von 42,6 % gegenüber einem Neubau führte die Wiederverwendung eines Bürogebäudes in Essen. Die Primärnutzungszeit betrug 4 Jahre⁴⁸⁴.

- Wiederverwendung von Raumelementen (recyclingorientierte Bauweise)

Beispiel: Rückbau eines Wohngebäudes erstellt in der Bauweise RE-Oranienburg und Wiederaufbau

Erstmalig erprobt wurde der komplette Rückbau eines ehemals zu Wohnzwecken errichteten Gebäudes in RE-Oranienburg-Bauweise. Im Dezember 1995 begannen die Demontearbeiten. Lediglich der Ausbau von Versorgungsleitungen und Türen ist nötig, bevor die Raumzelle(n) demontiert wird (werden). Die zurückgewonnenen Raumelemente wurden zum wiederholten Male zum Bau von 2 zwei- und einem eingeschossigen Gebäude verwendet. Dieses Bausystem sollte unter dem Gesichtspunkt der Wiederverwendung der Einzelmodule weiterentwickelt werden.

10.5 Zwischenfazit

Die geschaffenen Gebäude unter Verwendung von gebrauchten Betonbauteilen werden derzeit noch nicht unter dem Aspekt einer nochmaligen Zerlegung geplant, da i. d. R. davon ausgegangen wird, dass die sekundäre Nutzungsdauer mindestens 50 Jahre beträgt. In Abhängigkeit der sekundären Nutzungsbeanspruchung sowie der Instandhaltungszyklen und der sich daraus ergebenden möglichen Einflüsse auf die Gebrauchseigenschaften wird zu einer neuen Bewertung der Sekundärnutzung führen – auch unter dem Gesichtspunkt neu gewonnener Erkenntnisse zum Langzeitverhalten von Stahlbetonkonstruktionen und der Beherrschbarkeit der umweltbelastenden Einflüsse.

Das Handling der großformatigen Betonelemente ist um ein Vielfaches anspruchsvoller im Vergleich bspw. zu Ausbauelementen. Aus Sicht der Autorin wäre es wichtig, jegliche Baumaßnahme, aber erst recht (Wieder-)Neubauten, zu dokumentieren und Verbundkonstruktionen weitestgehend auszu-

⁴⁸⁴ Reinhardt, Hans Wolf: Demontabel Bauen mit Beton, in: Betonwerk und Fertigteiltechnik, Heft 5/1985, S. 300-305

schließen. Dies trifft v.a. für das Anbringen der erforderlich werdenden Wärmedämmung an Außenwänden zu. Gegenwärtig kommt überwiegend das Wärmedämmverbundsystem zur Anwendung, welches bei späteren Rückbaumaßnahmen zu erhöhten Aufwendungen führt, um die Materialien in Vorbereitung ihrer Verwertung voneinander zu trennen. Das gilt auch für die energetische Nachbesserung im Bestand.

Ein weiterer Punkt des energie- und ressourcenschonenden Bauens mit RC-Betonteilen besteht darin, die Gestalt und Gebrauchseigenschaften vollends zu nutzen. D.h. das Zurechtsägen auf bestimmte Bauteilabmaße oder Veredlungen sollten nicht als vordergründiges Ziel verfolgt werden. Eher sind sinnvolle Anwendungsbereiche unter den gegebenen Bedingungen herauszuarbeiten.

Nach gegenwärtigem Erkenntnisstand kann der Primärnutzungszyklus von Betonelementen aus nicht demontabel errichteten Bauten (Plattenbauten) um mindestens einen, voraussichtlich max. zwei Nutzungszyklen erweitert werden.

Die Verwendung von RC-Gesteinskörnungen zur Betonfertigteilproduktion ist ein noch unerschlossener Bereich der Wiederverwertung. Zwar gibt es Aktivitäten zur Steinproduktion, aber im Sinne des industriellen Bauens und der Recyclingfreundlichkeit besteht noch Nachholebedarf.

11 Zusammenfassung und Ableitung von Schlussfolgerungen

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Produkt- und Materialrecycling im Bauwesen – beispielhaft untersucht an industriell errichteten Wohngebäuden – speziell anhand von Plattenbauten, die zum Rückbau oder Abbruch anstehen.

Da diese Gebäudekategorie besonders stark von der Leerstandsproblematik betroffen ist, steht sie im Brennpunkt der Maßnahmen des Stadtumbau Ost-Programms. Leerstehende Plattenbauten könnten demzufolge mit als Bauteilquelle für die nächsten Jahre dienen. Bleiben diese Potenziale für ein optimiertes Recycling unausgeschöpft, so gehen die vielfältigen Synergieeffekte verloren.

Im Fokus der Untersuchungen steht deshalb die Wiederverwendung von Betonelementen resp. das Produktrecycling. Die Bauteilwiederverwendung ist durch den Erhalt der Gestalt und der Wertschöpfung gekennzeichnet. Die Bauprodukte verbleiben im Wirtschaftskreislauf.

Alternativ wird die Wiederverwertung, d.h. das herkömmliche Recycling bzw. das Materialrecycling bewertet. Bei der Wiederverwertung werden aufbereitete Baustoffe (RC-Baustoffe) wieder in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt. Die Analysen konzentrieren sich hierbei auf das höchstwertige Materialrecycling, den Einsatz von RC-Gesteinskörnungen im Betonbau.

Da in industriell errichteten Wohnbauten Schadstoffe angetroffen werden können, wird auf Fundorte, Verwendungszeiträume, auf den fachgerechten und sicheren Umgang und auf aktuelle Verwertungsoptionen behandelter schadstoffbelasteter Baumaterialien und –produkte eingegangen.

Die Teilprozesse zur Wiederverwendung und Wiederverwertung sind aus ganzheitlicher Sicht, d.h. nach baustofflichen, -technischen, -technologischen, rechtlichen, wirtschaftlichen, ökologischen, sozialen und logistischen Aspekten analysiert und bewertet worden – gemäß dem spezifischen Anforderungsprofil zum nachhaltigen Bauen. Nachhaltiges Bauen strebt für alle Phasen des Lebenszyklus, so auch für den Rückbau, Abbruch und die Entsorgung, einen minimalen Verbrauch von Energie und Ressourcen an, um den Naturhaushalt möglichst gering zu belasten.

Die detaillierten Kenntnisse zur Qualität der verbauten Betonelemente und die sekundäre Nachnutzungsform dieser als Bauteil in Gänze oder daraus herzustellende RC-Gesteinskörnungen beeinflussen maßgeblich die mit der Entsorgung verbundenen Kosten.

Das primäre Ziel der Forschungsarbeit besteht in der Wissensvermittlung und in der Schaffung von Grundlagen sowie Voraussetzungen für das Produkt- und Materialrecycling zur Umsetzung in die Praxis. Den in diesen Lebenszyklen der Immobilie beteiligten Akteuren wird somit eine Handlungshilfe für Entscheidungsfindungen zur Verfügung gestellt.

Die wesentlich erzielten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Rückbaukonzeptionen der Wohnungswirtschaft

1. Angesichts des massiven Wohnungsleerstandes sowie der vorhandenen Förderanreize konzentrieren sich die Bestandsreduzierungen industriell errichteter Gebäude derzeit hauptsächlich auf Abbruchmaßnahmen, die eine Zerstörung des Kapitals bewirken.

2. Den Teilrückbau gekoppelt mit Modernisierungs- u./o. Sanierungsmaßnahmen kommt – zumindest im Rahmen von Aufwertungen – verstärkt eine spezielle Bedeutung zu.

- Rückbau von Plattenbauten

1. Das vorherrschende Konstruktionssystem industriell errichteter Wohnbauten ist die Wandbauweise. Die Plattenbauweise mit den Laststufen 5,0 t und 6,3 t, ergänzt um Raumzellen mit 9,0 t, ist durch raumgroße und –hohe Außen- und Innenwände, halbraumgroße Deckenplatten, großformatige Dachplatten und einige Sonderelemente gekennzeichnet.
2. Die a priori nicht demontabel, in Serie errichteten Gebäude der DDR-Ära sind demontabel.
3. Teilrückbau vereint mehrere Vorteile, v.a.:
 - a) Erhalt des verbleibenden Bestandes (Kapitals) mit i. d. R. Modernisierung und Sanierung gekoppelt führt zur deutlichen Aufwertung des Wohngebäudes und je nach Maßnahme zu unterschiedlichen Gebäudevariationen (Reihenhaus, Stadtvilla u.a.),
 - b) Auflösung der ehemals monotonen Struktur ganzer Wohnquartiere (Auflockerung der Bebauungsstruktur, Verringerung der Bebauungsdichte, Verbesserung der Belichtungsverhältnisse etc.),
 - c) Weiternutzung vorhandener technischer Infrastruktur (ober- wie unterirdisch) wie bspw. Straßen, Wege, Beleuchtung, Medienversorgung,
 - d) Rückgewinnung der Bauelemente in Gänze,
 - e) Selektion schadstoffbelasteter Baumaterialien und –produkte wie z.B. KMF-belastete Außenwände.
4. Als Orientierung für die Kalkulation der Demontage- und Abbruchdauer und der damit im Zusammenhang stehenden Kosten wurden „Gebäudekennzahlen“ ermittelt:
 Die Betonmasse schwankt zwischen ca. 1,2 bis 1,5 t/m² Wfl. in Abhängigkeit des Gebäudetyps. Die Demontage eines Betonelements dauert etwa 10 bis 15 min; inkl. der vorbereitenden kranunabhängigen Arbeiten (Aufstemmen der Fugen, Durchtrennen der Verbindungen, ggf. Schaffung von alternativen Anschlagmöglichkeiten) i. M. 36 min.
 Die Kranstillstandszeiten – ermittelt am Fallbeispiel Plattenbau 41 %, am Fallbeispiel Blockbau 28 % –, sind unter Kostengesichtspunkten zu reduzieren. Der Vorlauf der vorbereitenden, kranunabhängigen Arbeiten zur Demontage ist detailliert zu planen. Der sorgfältigen Demontageablaufplanung ist daher eine besondere Bedeutung beizumessen.
 Eine geplante Wieder- oder Weiterverwendung der Betonelemente hat keinen signifikanten Einfluss auf die Demontagezeit.
5. Bei der Plattendemontage haben sich als alternative Anschlagmöglichkeiten bewährt:
 - Durchstecksystem mit Tragbolzen zur Wanddemontage,
 - Hebebänder zur Decken- und Wanddemontage
 und bei der Demontage von Wandblöcken der Blockbauweise Zangen.

6. Die Rückbauplanung umfasst

- die Grundlagenermittlung (Bestandsaufnahme / Gebäudeanalyse),
- die Genehmigungs-, Ausführungs- und Vergabeplanung (regionale Unterschiede und Besonderheiten, bspw. hinsichtlich baurechtlicher Rahmenbedingungen),
- Bauüberwachung.

Der krangeführte Rückbau ist komplexer und umfangreicher als ein selektiver Abbruch. Beide Verfahren sind nicht mit einem Neubau zu vergleichen.

Häufig existieren keine vollständigen Plansätze mehr. Zusätzlich ist, je nach Baujahr, mit diversen baustoffimmanenten Schadstoffen zu rechnen.

Der detaillierten Gebäude-, Bauelemente-, Baustoff- und Schadstofferkundung ist deshalb besondere Bedeutung beizumessen. Auf der qualifizierten Vorerkundung baut schließlich die Erstellung eines baupraktischen Rückbau- / Abbruchkonzeptes auf.

Je nach gewählter Strategie der Beseitigung, der Bestandssituation und der lokalen Umgebungssituation ist davon auszugehen, dass fast jeder Teilrückbau aber auch Abbruch einen Prototyp darstellt.

7. Die Demontagekosten pro Element liegen zwischen 133 € und 198 €.

Die Höhe der Kosten kann kompensiert werden, indem rückgebaute Platten ab Demontagebaustelle an interessierte Kunden abgegeben werden. Beispielsweise wird derzeit für eine gebrauchte Deckenplatte zwischen 33 € und 43 € gezahlt. Die Demontagekosten könnten sich demzufolge um etwa 37 bis 55 % pro Element verringern.

In den Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die Betonelemente über die Abbruchunternehmen direkt vermarktet werden.

Außerdem werden Entsorgungskosten eingespart. Bei Anlieferung der Deckenplatte an einer RC-Anlage in Gänze betragen bspw. die Kippgebühren 270 €; vorzerkleinert etwa 40 € – regional stark schwankend.

8. Beschädigungen der Elemente bedingt durch das Freilegen aus dem Verbund sind vermeidbar durch sachgemäßes Öffnen der Fugen über die gesamte Bauteillänge / -breite. Ein Losreißen der Elemente ist verboten.

An die TUL-Prozesse für gebrauchte Betonelemente werden die gleichen Qualitätsanforderungen gestellt wie für neue Betonelemente. Unsachgemäße Zwischenlagerungen und unzulässiges Handling führen zu Beschädigungen oder Schäden der Betonelemente.

Empfohlen wird, die Auftragsvergabe nur an qualifizierte, erfahrene Rückbauunternehmen zu erteilen.

9. Der Energieaufwand für die Demontage von einer Tonne Betonelement beträgt ~ 157 MJ mit FZK und ~ 73 MJ bei Einsatz eines TDK. D.h., der Einsatz eines FZK's bedarf ~ 53 % mehr Energie als ein TDK.

Zur Erzeugung von einer Tonne Bauschutt ist ein Energiebedarf von etwa 106 MJ erforderlich.

Der Vergleich der energiebedingten CO₂-Emissionen zeigt, dass der Abbruch mit ~ 7,9 kg CO₂/t Betonelement emissionsärmer als die Demontage mit FZK (~ 11,7 kg CO₂/t) und mit TDK (~ 12,8 kg CO₂/t) ist.

Die SO₂-Emissionen fallen bei der Demontage mit TDK am geringsten aus im Vergleich zum Abbruch und zur Demontage mit FZK.

Während der TDK-Einsatz NO_x-Stäube von ~ 12 g/t rückzubauendes Betonelement verursacht, emittieren bei FZK-Einsatz und beim Bagger keine Stickoxide.

Die Zwischenbilanz für diesen Teilprozess aus ökologischer Sicht ergibt, dass der Abbruch günstiger ist als der Rückbau.

- Schadstoffe und deren spezifische Entsorgung

1. In den vergangenen Jahren hat der Gesetzgeber Regelwerke erlassen, mit denen Herstellungs-, Anwendungs- und Entsorgungsverbote oder –beschränkungen festgeschrieben wurden. Eine Fülle von Vorschriften bildet seither den gesetzlichen Rahmen für die Verfahrensweise beim Umgang und bei der Entsorgung von schadstoffbelasteten Baumaterialien und –produkten. Daneben sind länderspezifische Regelungen für die Entsorgung der gefährlichen Abfälle maßgebend. In einer Reihe von Bundesländern besteht eine Überlassungs- / Andienungspflicht. Damit übernimmt die Gesellschaft die Lenkung der Stoffströme zur Entsorgungsanlage.
2. In Plattenbauten können asbesthaltige Materialien, teerhaltige Dach- und Sperrpappen und künstlich hergestellte Mineralwolleprodukte (KMF) angetroffen werden. Die Anwendung der jeweiligen Stoffgruppe stellt sich im zeitlichen und regionalen Bereich sehr unterschiedlich dar; sogar innerhalb eines Wohngebäudes schwankt ihr Einsatz.
3. Für **Asbest** und asbesthaltige Zubereitungen besteht ein Herstellungs- und Verwendungsverbot (Anhang IV, Nr. 1 Gef StoffV). Ausnahmen bilden nur Abbruch- und Sanierungs- oder Forschungsarbeiten.
4. Alle asbesthaltigen Abfälle sind seit dem 01.02.2007 als gefährlich eingestuft. Je nach Deklarationsanalyse sind asbesthaltige Abfälle dem Abfallschlüssel 170601* „Dämmmaterial, das Asbest enthält“ (schwachgebundene Asbestabfälle) oder 170605* „Asbesthaltige Baustoffe“ (festgebundene Asbestabfälle) zuzuordnen.
5. Gefährliche Abfälle sind grundsätzlich im Vorfeld des Rückbaus oder des Abbruchs der Rohbaukonstruktion getrennt von fachlich zugelassenen Firmen auszubauen und separat fachgerecht / ordnungsgemäß nach dem Stand der Technik zu entsorgen.
Die Nachweisführung ist bei der Entsorgung von Abfällen im Jahr 2007 grundlegend neu konzipiert worden. Das Prinzip besteht in einer Vorabkontrolle und einer Verbleibskontrolle.
6. In Plattenbauten können v.a. folgende asbesthaltige Materialien (außen und innen) angetroffen werden: Morinol-Fugenkitte, Brandschutzplatten „Baufatherm“, Leichtbauplatten „Sokalit“ und Feuerschutzplatten „Neptunit“.
7. Gesundheitliche Bewertung von Asbest: Mit der Atemluft aufgenommene Asbestfasern können grundsätzlich zwei Effekte hervorrufen:
 - die Erzeugung von Narbengewebe („fibrogener Effekt“) und
 - die Erzeugung von Krebsgewebe („kanzerogener Effekt“),

die zu Asbestose (erhebliche Beeinträchtigung der Atemfunktion), Bronchialkarzinom (Lungenkrebs) oder seltener zu Pleuramesotheliom (Krebs am Rippen- oder Bauchfell) führen können.

Gemäß GefStoffV werden asbesthaltige Baustoffe in die Kategorie 1 – krebserzeugender Gefahrstoff eingestuft.

8. Für asbesthaltige Abfälle sind eine Reihe von Behandlungsverfahren (mechanische Umwandlung, thermische Verfahren, chemische Zersetzung) entwickelt und erprobt worden, wodurch nachweislich die gesundheitsgefährdende Asbestfaserstruktur zerstört und faserfreie Ausgangsprodukte erzeugt werden. Verwertungsoptionen bestehen hauptsächlich in der Zement-, Keramik- und Betonindustrie. Zudem scheint für thermische Reaktionsprodukte die Verwertung als Füller für Splittmastixasphalt ein guter Ansatz zu sein.

Den Behandlungsverfahren obliegen jedoch v.a. folgende Nachteile:

- hoher spezifischer Energieverbrauch,
- hohe Sicherheitsanforderungen (Schwarzbereich) und
- teure Behandlungskosten im Vergleich zur Deponierung.

Zudem ist der Absatz der behandelten Austragsmaterialien zu sichern. Sie unterliegen einerseits den geltenden bautechnischen Anforderungen, aber andererseits muss auch die Akzeptanz gegeben sein.

Eine großtechnische Umsetzung der entwickelten Behandlungsverfahren konnte sich bisher aus wirtschaftlichen Gründen nicht etablieren.

9. Derzeit werden asbesthaltige Abfälle fast ausschließlich abgelagert. Die Ablagerung / Deponierung darf nur in geschlossenen, gekennzeichneten Behältnissen (z.B. Big-Bags) in abfallrechtlich dafür zugelassenen Deponien der DK I bzw. DK II gemäß AbfAbIV oder gesondert in Monobereichen erfolgen.

10. In den Plattenbauten sind hauptsächlich **KMF** (Glas-, Stein- und Schlackewollen) zur Wärme- und Schalldämmung mit dem Handelsnamen „Kamilit“ eingesetzt worden wie z.B. zur Trittschalldämmung, als Wärmedämmschicht über der obersten Geschossdecke u./o. in mehrschichtigen Außenwänden, zur Isolierung Lüftungstechnischer Anlagen etc.

Eine verstärkte Anwendung wurde von 1982 – 1989 festgestellt.

Damit zählen sie zu den „alten“ Mineralwollen (biopersistente künstliche Mineralfasern nach Anhang IV Nr. 22 GefStoffV) und gelten als krebverdächtig.

Fasern mit einem Kanzerogenitätsindex $KI \leq 40$, hergestellt vor dem 01.06.2000, sind als gefährliche Abfälle dem AVV-Abfallschlüssel 170603* „Anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche enthält“ zuzuordnen. Die Einstufung gilt auch für KMF-Abfälle unbekannter Qualität und ohne RAL-Gütezeichen.

11. Gesundheitliche Bewertung von KMF: Mit der Atemluft aufgenommene KMF's „kritischer Fasergeometrie“ in einer gewissen Biopersistenz stehen im Verdacht, Krebs zu erzeugen. Ferner sind Hautreizungen (hierfür sind Fasern mit einem Durchmesser $> 5 \mu m$ verantwortlich) und vorübergehende entzündliche Reizungen der Atemwege und Augen möglich.

12. Der Umgang mit „alten“ Mineralwolle-Dämmstoffen ist nur noch im Zuge von Demontage-, Abbruch-, Instandhaltungs- und Instandsetzungsarbeiten zulässig. Ausgebaute „alte“ KMF-Produkte dürfen nicht wieder verbaut werden, sondern müssen ordnungsgemäß entsorgt werden.
13. KMF-Produkte sind nicht brennbar, müssen in geschlossenen, gekennzeichneten Behältnissen verpackt werden. Überwiegend werden sie auf Deponien der Klasse I oder II abgelagert. Die Entsorgungskosten liegen zwischen 100 – 600 €/t.
Ein neu entwickeltes umweltverträgliches, bisher einziges in die Praxis überführtes Aufbereitungsverfahren (Woolrec-Verfahren), bei dem zerkleinerte KMF-Abfälle mit Tonmineralien und natürlichen Bindemitteln gemischt, gepresst und konfektioniert werden, finden in der Ziegelindustrie Verwendung. Der Annahmepreis für Mineralwolleabfälle liegt bei 165 €/t.
Im Labormaßstab ist auf der Basis der Multi-Mode-Mikrowellentechnologie ein weiteres Behandlungsverfahren erprobt. Der Vorteil gegenüber dem vorgenannten Verfahren besteht darin, dass der Gefahrstoff zuerst verschlackt und dann vermahlen wird. Anwendungsgebiete für das Austragsmaterial werden in der Baustoffindustrie erwartet (in der Zementindustrie, zur Betonherstellung, zur Ziegelproduktion, im Asphalt).
14. Kamilitbelastete Außenwände können mittels krangeführtem Rückbau am sichersten – ohne, dass Fasern freigesetzt werden können – aus dem Konstruktionsverbund herausgelöst werden.
Mit der Auftrennung der Außenwand in ihre einzelnen Schichten (Wetter- und Tragschicht = unbelastet) und KMF-Dämmschicht (= gefährlicher Abfall) kann das zu deponierende gefährliche Abfallaufkommen von einer bspw. 6 t schweren Außenwand auf ca. 50 kg TM KMF-Dämmwolle reduziert werden. Damit wird das zu deponierende Volumen verringert sowie die Höhe der Entsorgungskosten.
15. Die Entfernung der KMF-Dämmwolle aus Außenwänden im eingebauten Zustand (im Gebäude) wird auf Einzelmaßnahmen beschränkt bleiben, da der manuelle Aufwand zum Abtrag der unbelasteten Wetterschale und des Kamilits zu aufwendig ist.
16. **Teerhaltige Dachbahnen** werden in Ostdeutschland aufgrund ihrer Produktionszeit bis 1990 und ihrer prognostizierten Lebensdauer bis etwa 2020 in Gebäuden angetroffen werden. Als Leitkomponenten der im Teer enthaltenen mehreren tausend chemischen Einzelsubstanzen gelten die PAK, Phenole und weitere aromatische und aliphatische Kohlenwasserstoffe.
17. Gesundheitliche Bewertung: von in Teeren enthaltenen chemischen Substanzen können akute Wirkungen (gekennzeichnet bspw. durch Reizungen der Haut, Augen, Atemwege), chronische Wirkungen (Hautveränderungen, Leber- und Nierenschädigung, Schädigung des zentralen Nervensystems) und Folgeerscheinungen (Haut-, Kehlkopf- und Lungenkrebs) auslösen.
18. Die Einstufung von Dachbahnen als gefährlicher Abfall erfolgt anhand des Untersuchungsparameters PAK nach EPA bei Beachtung der länderspezifisch vorgegebenen Richt- und Grenzwerte. Aufgrund der unterschiedlich zulässigen PAK-Konzentrationen variiert die Einstufung

nicht bundeseinheitlich. Gefährlicher Abfall ist dem AVV 170303* „Kohlenteer und teerhaltige Produkte“ zuzuordnen.

19. Schnelltests zur Erkennung von Teer und PAK's (Teerpistole, Lacksprühtest, Testpapier u.a.) können nur als Orientierungshilfe für Schädigungspotenziale herangezogen werden. Eine quantitative Aussage kann dadurch nicht ersetzt werden.
20. Teerhaltige Dachpappen eignen sich aufgrund des relativ hohen Heizwertes von 20.000 kJ/kg für eine thermische Verwertung. Stofflich verwertet werden können sie zur Herstellung von Asphalt im Kaltmischgut. Für den Einsatz in einem Heißmischverfahren sind nur bitumenhaltige Dachbahnen zulässig.

In Vorbereitung der energetischen oder stofflichen Verwertung wird eine Aufbereitung in speziell zugelassenen Vorbehandlungsanlagen erforderlich, um Fremdstoffe (z.B. Metalle) abzutrennen.

Die thermische und stoffliche Verwertung für teerbelastete Dachbahnen geben den Stand der Technik wieder.

- Qualitätsmerkmale gebrauchter Betonelemente

Bewertung der baustofflichen Eigenschaften

1. Generell ist festzuhalten, dass die Druckfestigkeitsklassen der Betonelemente gemäß der Projektierung mindestens erfüllt werden, i .d. R. jedoch erhöht sind.

Die Messdaten an 160 geprüften 15 bis 30 Jahre alten Deckenplatten der WBS 70 weisen mit C 50/60 eine 4-fache Erhöhung gegenüber der Mindestanforderung nach gültiger DIN auf. Die vorgespannten Deckenplatten vom P2-Typ, projektiert in B 300 (C 25/30), erfüllen die neuen, höheren Anforderungen C 30/37 (nachgewiesen an 83 Spannbetondeckenplatten).

Die 172 untersuchten Innenwände vom Gebäudetyp P2 weisen eine Erhöhung um 1 Festigkeitsklasse gegenüber den Angaben aus der Projektierung auf.

Die Innenwände der WBS 70 erfüllen die projektierte Betonfestigkeitsklasse.

Die Ergebnisse zur Druckfestigkeitsüberprüfung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

-	WBS 70:	Spannbetondecken	C 50/60
		tragende Innenwände	C 20/25
-	P2	: schlaff bewehrte Decken	C 20/25
		Spannbetondecken	C 30/37
		tragende Innenwände	C 20/25

2. Unter Zugrundelegung der Mindestbetonfestigkeit erfüllen die untersuchten Deckenplatten und Innenwände der WBS 70 und vom Gebäudetyp P2 unaufgearbeitet die Anforderungen der Expositionsklassen XC 1 – XC 3. Die vorgespannten Deckenplatten der P2-Serie erreichen XC 4. Bezogen auf die Wiederverwendung der zurückgebauten untersuchten Betonelemente bedeutet dies zunächst, dass über die primären Anforderungen hinausgehend Umweltauflagen erfüllt werden.

3. Die Untersuchungen zur Betondeckung haben ergeben, dass das Deckensortiment und die Innenwände der P2-Gebäudeserie bei unverändertem sekundären Einsatz die Mindestbetondeckung einhalten. Die Spannbetondecken der WBS 70 erfüllen diese Anforderung nicht.
Die Analysen zur Karbonatisierung lassen den Schluss zu, dass bei unveränderten Umweltbedingungen in der Sekundär – im Vergleich zur Primärnutzung ein ausreichender Korrosionsschutz beim gesamten untersuchten Betonelementesortiment besteht. Insofern wird die unter 2. gemachte Aussage, dass auch höhere Expositionsklassen mit unaufgearbeiteten Betonelementen erfüllt werden, wieder relativiert.
4. Das untersuchte Elementesortiment aus dem Wohnungsbau wird als dicht eingestuft. Die Durchlässigkeitswerte betragen $k_f = 10^{-10}$ bis 10^{-11} m/s und sind vergleichbar mit Tonen, die $k_f = 10^{-8}$ bis 10^{-12} m/s aufweisen.
Die totale Porosität mit i. M. 12,5 % < 16 % weist im Weiteren auf einen dauerhaften Beton hin. Die ermittelte Wassereindringtiefe von 1,3 cm bis 2,4 cm < 3 cm bestätigt deren Wasserdurchlässigkeit.
5. Die Anforderungen gegen Frost mit und ohne Einwirkung von Taumitteln erfüllen unbehandelte Betonelemente aus den Wohnungsbauserien nicht.

Bewertung der Tragfähigkeit

Die rechnerischen Nachweise zur Tragfähigkeit der Deckenplatten sind zum Teil durch experimentelle Belastungsversuche ergänzt worden, um eine zuverlässige Tragfähigkeitsbeurteilung zu erhalten.

1. Die vorhandene Tragbewehrung der geprüften Deckenplatten ist für Verkehrslasten in Wohnräumen (1,50 kN/m²) ausreichend. Schlaff bewehrte Deckenplatten aus dem P2-Typ können sogar in Büroräumen (Verkehrslast 5 kN/m²) eingesetzt werden.
2. Die Belastungsversuche der Spannbetondecken ergaben eine nahezu lineare Abhängigkeit zwischen Last und Verformung, die bis etwa zur 1,5-fachen bis 2-fachen Gebrauchslast erhalten blieb. Erst bei weiteren Laststeigerungen wuchsen die Verformungen überproportional. Nachgewiesen wurden die hohe Elastizität der Spannstähle sowie der ausgezeichnete Haftverbund zwischen Stahl und Beton.
Weder die vorgespannten noch die schlaff bewehrten Deckenplatten versagten in der Betondruckzone noch durch Stahlfließen.
3. Für den untersuchten Anwendungsfall, dass die Innenwände in 3-geschossigen Wohnbauten verbaut werden, bestehen aus statischer Sicht keine Bedenken.
4. Die rechnerischen und experimentellen Untersuchungen belegen, dass für das untersuchte Bauelementesortiment aus statischer Sicht keine Bedenken gegen die Wiederverwendung bestehen.

Bewertung bauphysikalischer Eigenschaften

1. Der untersuchte unsanierte Plattenbautyp P2 erfüllt nicht die heute gültigen Anforderungen an den Schallschutz. Eine Ausnahme bildet lediglich die Wohnungsdecke mit Spannteppich. Als Ursachen wurden Bau- und Verarbeitungsmängel aber auch konstruktive Zusammenhänge festgestellt.
2. Die heute geltenden Anforderungen an den Wärmeschutz erfüllt der P2-Typ nicht aufgrund der zu gering dimensionierten Wärmedämmschichten. Lediglich die Wohnungstrennwände und die oberste Geschossdecke (durch Dämmwolleauflage) erfüllen die Mindestanforderungen nach DIN.
Der mangelnde Wärmeschutz ist i. d. R. in allen industriell errichteten Wohngebäuden anzutreffen.
3. Die rechnerischen Nachweise zum Feuerwiderstand und die Brandlastversuche haben ergeben, dass die Tragfähigkeit unter Last bei den Spannbetondecken des P2-Typs > 30 Minuten erhalten bleibt. Bei den Stahlbetondeckenplatten blieb die Tragfähigkeit > 90 bzw. 85 Minuten erhalten.
Insoweit lassen sich die Elemente unaufgearbeitet nur in Wohngebäuden mit einer Höhe bis zu 7,00 m wiederverwenden.

Die durchgeführten Untersuchungsergebnisse an ausgewählten Elementegruppen der Plattenbautypen WBS 70, P2 und PN 36-NO bestätigen, dass die Betonelemente hohe Gebrauchseigenschaften besitzen. Die zugrunde gelegten vergleichenden Untersuchungen zur Tragfähigkeit basieren auf einem unveränderten Nutzungszweck in der Sekundärnutzung gegenüber der Primärnutzung. Der wiederholte Einsatz im Wohnungsbau ist nach den heute gültigen Vorschriften überprüft worden.

Durch ergänzende Traglastversuche konnten die rechnerischen Nachweise belegt werden bzw. es konnten auch Tragfähigkeitsreserven an einem bestimmten Deckenplattensortiment nachgewiesen werden.

Andererseits ergaben die rechnerischen Nachweise auch, dass sich bestimmte Deckenplatten des Dremelgeschosses (PN 36-NO) unaufgearbeitet nicht zur Wiederverwendung für den gleichen Nutzungszweck eignen. Allerdings besteht die Möglichkeit, die auf Biegung beanspruchten Betonelemente z.B. durch eingeschlitzte Kohlefaser-Lamellen zu ertüchtigen.

Eine Wiederverwendung von Betonbauteilen im Hausbau erfordert Ertüchtigungsmaßnahmen hinsichtlich der Verbesserung der bauphysikalischen Kennwerte. Hierfür werden vielfältige Lösungen am Markt angeboten.

Hinsichtlich des Feuerwiderstandes können Deckenplatten ohne Aufarbeitung in Hochhäusern bis zur Gebäudeklasse 3 eingesetzt werden.

- Nachnutzungsmöglichkeiten / Produktrecycling

1. Rückgebaute Betonelemente sind auf vielfältige Art und Weise nachnutzbar wie bspw.

- im Wohn- und Mehrzweckbau,
- im Landschafts- und Parkanlagenbau,
- in Umweltschutzbauten (Lärmschutzwälle, Deichbau),
- im Landwirtschaftsbau (Silos u.a.).

In realisierten Pilotvorhaben wurde die technische Machbarkeit der Wiederverwendung und Weiterverwendung von Altbetonelementen im Wohn- und Mehrzweckbau (EFH, DH, Stadtvillen, Vereinshäuser) und im Rahmen der Gestaltung des Außenbereiches (Kletterfelsen, Sitzelemente, Abgrenzungselemente, künstlerisches „Beiwerk“) unter Beweis gestellt.

Allerdings bleibt der überwiegende Teil des vorhandenen Potenzials aus dem Baubestand für das Produktrecycling unerschlossen.

Um auch die noch anfänglichen Akzeptanzfragen gegenüber der Platte zu begegnen, sind eigene Forschungen zum Einsatz von Altbetonelementen für Deichbauten im Gange (unterirdische Anwendung).

Des Weiteren wird die grenzüberschreitende Nachnutzung in Vorbereitung der praktischen Umsetzung untersucht.

2. Die durchgeführten Untersuchungen belegen, dass demontierte Betonelemente aus Plattenbauten bei sachgemäßem Rückbau gebrauchsfertig anfallen.

Deckenplatten und ehemals tragende Innenwände eignen sich besonders gut zur Wiederverwendung, Außenwände eignen sich gut.

Dachkassettenplatten, Treppenelemente und Badzellen bleiben aufgrund ihrer Bauteilgeometrie und Gestalt speziellen Anwendungsgebieten bzw. den gleichen Einsatzbereichen wie in der Primärnutzung vorbehalten und werden deshalb als bedingt wiederverwendungsg geeignet eingeschätzt.

Drempel- und Loggiaelemente sind prinzipiell nachnutzbar. Die Bewertung bedingt wiederverwendungsg geeignet für dieses Sortiment ist auf die geringe Anzahl der verbauten Drempel- und Loggiaelemente (am Fallbeispiel P2 ~ 3 %) im Vergleich zur Gesamtanzahl der verbauten Elemente zurückzuführen. Die Loggiaelemente machen zwar ~ 11 % an der Gesamtmenge aus, aber die Brüstungsplatten sind in unterschiedlichen Materialien ausgeführt und überdies weisen die Bauzustandsbewertungen erhebliche Schwankungen auf, so dass eine Nachnutzung im Wohn- und Mehrzweckbau nur eingeschränkt möglich ist. Für untergeordnete Anwendungen besteht jedoch uneingeschränkt die Möglichkeit der weiteren Verwendung, wie z.B. für den Bau von Kletterfelsen.

Lediglich die Trennwände (zu geringe Bauteildicke 7 cm) und die schadstoffbelasteten Außenwände mit Kamilit gedämmt eignen sich nicht für eine sekundäre Verwendung als Bauteil / Bauprodukt.

3. Als Entscheidungsmerkmale zur Wiederverwendungseignung wurden – unter Beachtung des eigenen entwickelten Entscheidungsmodells – anhand der Entscheidungsstufen (systemati-

sche Abarbeitung von Prüfkriterien im Rahmen der Eignungs-, Haupt- und Zusatzprüfung) folgende Parameter zugrunde gelegt:

- die Qualität der Betonelemente,
- die Quantität / Verfügbarkeit der Betonelemente,
- ihre Geometrie und Gestalt,
- der Demontageprozess (inkl. TUL) zur Gewinnung der Bauelemente,
- Aufarbeitungs- und Bearbeitungsmöglichkeiten,
- architektonische Gestaltungsräume,
- wirtschaftliche und ökologische Bewertung / Bedeutung der Wieder- und Weiterverwendung.

4. Unter dem Ansatz, dass die Deckenplatten und Innenwände bspw. eines 5-geschossigen P2-Gebäudes wiederverwendet werden, beläuft sich die Wiederverwendungsquote auf ~ 38 % bezogen auf die Gesamtanzahl der verbauten Elemente. Massebezogen sind dies 50 %.

Werden außerdem die unbelasteten Außenwände nachgenutzt, erhöht sich das Wiederverwendungspotenzial elementebezogen betrachtet auf ~ 45 % und massebezogen ermittelt auf 68 %. Ist nur die Hälfte der Außenwände wiederverwendbar, so beträgt die Wiederverwendungsquote immer noch 41 % anzahlbezogen und 59 % massebezogen.

Unter Annahme, dass auch die bedingt wiederverwendungsgerechten Betonelemente nachgenutzt werden, könnte sich die Wiederverwendungsquote anzahlmäßig gesehen auf 82 % erhöhen; massebezogen sind es ~ 95 %.

Aufgrund der unterschiedlichen Bauteilabmessungen kann die anzahlbezogene Wiederverwendungsquote in anderen Gebäudetypen abweichen.

5. Da keine allgemein anerkannten Regeln der Technik für den Einsatz von gebrauchten Betonelementen existieren, ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt der Genehmigungsaufwand zu hoch und zu zeitintensiv. I. d. R. erfolgt eine Zustimmung im Einzelfall.
6. Im Allgemeinen stellt sich ein Kostenvorteil beim Bauen mit gebrauchten Betonelementen im Hochbau für den Rohbau in Höhe von 10 bis 30 % im Vergleich zur herkömmlichen Massivbauweise ein.

Die Höhe der Kosteneinsparung wird im Wesentlichen beeinflusst von

- der Fläche, die mit wiederverwendungsgerechten Betonelementen hergestellt wird (Wandfläche, Deckenfläche), d.h. der Wiederverwendungsquote,
- der fachgerechten, sorgfältigen Planung und
- der Anzahl der Umschläge der Betonelemente.

Am kostengünstigsten funktionieren Wieder- und Weiterverwendungen, wenn Spender- und Empfängergebäude zeitlich und räumlich nah beieinander liegen.

Allerdings erweist sich auf der Grundlage von Kostenkalkulationen sogar ein Kostenvorteil bei der Bereitstellung von gebrauchten Betonelementen in ~ 2.000 km Entfernung zur Demontagebaustelle. Errechnet wurden Einsparungen zwischen 30 und 40 %. Der wirtschaftliche Vorteil ergibt sich v.a. aus den lokalen Energie- und Rohstoffpreisen. Die Höhe des tatsächlichen wirtschaftlichen Vorteils ist jedoch erst in einem Pilotvorhaben, das 2010 geplant ist, nachweisbar.

Unter Einbeziehung der Kosten für die Demontage der Betonelemente inkl. der Prüf- und Transportkosten ergeben sich im Vergleich zu neuen Betonfertigteilen in Deutschland Einsparungen in Höhe von 216 € für eine Deckenplatte und 281 € für eine Innenwand.

Der Käufer bezahlt derzeit für die Bereitstellung einer Innenwand auf der Demontagebaustelle ~ 50 € und für eine Deckenplatte etwa 57 €. Bei Herausrechnung der Demontagekosten ergeben sich Einsparungen von 472 € für eine Innenwand und 407 € für eine Deckenplatte gegenüber Neuteilpreisen. Eine Transportentfernung von 30 km ist inbegriffen, das Abladen der Elemente jedoch nicht. Das heißt, bis zu diesem Teilprozess betragen die Kosten etwa nur $\frac{1}{10}$ des Neupreises aus Sicht des Kunden.

Der sichtliche Kostenvorteil wird zunichte oder zumindest eingeschränkt, wenn die gebrauchten Betonelemente geschnitten bzw. an Geometrien angepasst werden müssen und der Umfang der Aufarbeitungsmaßnahmen groß ist.

7. Die ökologischen Vorteile für das Bauteilrecycling resultieren insbesondere aus dem hohen Einsparpotenzial an Rohstoffen und Energie. Anhand ökobilanzieller Vergleiche wurde ermittelt, dass je nach Wiederverwendungsquote, Transportentfernung und v.a. dem verwendeten Transportmittel sowie dem Verwendungszweck die Einsparung unterschiedlich hoch ausfällt. Selbst bei einer Transportentfernung von über 2.000 km wird eine Energieeinsparung in Höhe von ~ 88 % gegenüber der Neuproduktion erzielt.

Die Herstellung von Stahlbetonelementen ist besonders energieintensiv. Für die Herstellung von 1 Tonne Fertigteilbeton werden ~ 3.080 MJ Energie benötigt. Umgerechnet auf den Heizölverbrauch werden ~ 72 Liter für 1 Tonne Betonfertigteile erforderlich.

Die Bereitstellung der gebrauchten Betonelemente zur Wieder- oder Weiterverwendung – resultierend aus der Demontage – hingegen erfordert lediglich 3,7 Liter Heizöl pro Tonne Betonfertigteile. Das ergibt eine Einsparung an Heizöl in Höhe von knapp 95 %.

Da die Höhe des Energieverbrauches mit der Freisetzung klimarelevanter Schadstoffemissionen korreliert, ist eine Schadstoffreduzierung durch den Wiedereinsatz von Betonelementen nachweislich.

Die energetisch bedingte Emission zur Neuherstellung von 1 Tonne Fertigteilbeton wird gegenüber der Bereitstellung von 1 Tonne rückgebautem Betonfertigteile um rund 97 % vermindert. Anstelle 394 kg/t werden nur noch knapp 12 kg/t CO₂-Emissionen freigesetzt.

Außerdem werden natürliche Ressourcen geschont. Das Verhältnis Abbau von Rohstoffen zur Herstellung von 1 t Stahlbeton beträgt etwa 6 : 1. Beispielsweise brauchen 21 t Naturrohstoffe für die Herstellung einer einzigen Spannbetondecke des P2-Typs nicht in Anspruch genommen werden.

Gleichzeitig wird die Flächeninanspruchnahme vermindert. Des Weiteren werden die Stoffströme reduziert.

8. Bei bautechnischer Eignung der Verwendung von Altbetonbauteilen zur Deichstabilisierung (entwickelte Deichbauvarianten; Nachweis noch nicht abschließend erbracht) ergeben sich Kosteneinsparungen von ~ 10 % beim Neubau von Deichen mit Innendichtung und ~ 20 % bei der Ausführungsvariante mit Oberflächendichtung. Der Kostenvorteil gegenüber der genormten

Ausbildung eines homogenen Deiches, mit einer Böschungsneigung von 1 : 3, ergibt sich aus der bewusst gewählt steileren Böschungsneigung des Deiches mit 1 : 2 und den damit geringeren Erdmassenbewegungen.

Die Flächeninanspruchnahme ist um knapp 30 % reduzierbar, die Erdmasseneinsparung beträgt ca. 27 %.

Die Herstellung der Überlaufstrecken unter Verwendung gebrauchter Betonelemente führt zu Kosteneinsparungen um 50 % gegenüber der standardisierten Deichausführung mit einer Böschungsneigung von 1 : 10. Die Mengen an zu bewegendenden Erdmassen zur Herstellung des Stützkörpers vermindern sich um ca. 75 %.

Angesichts der noch notwendigen Deichneubau- sowie Deichertüchtigungsmaßnahmen in der Bundesrepublik Deutschland und der umweltpolitischen Zielstellung der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, die Flächeninanspruchnahme von derzeit 118 ha/d auf 30 ha/d im Jahr 2020 zu reduzieren, implizieren die entwickelten alternativen Deichbauvarianten einen interessanten Ansatz.

Die Energieaufwendungen reduzieren sich im Vergleich zum herkömmlichen Deichbau bei der Variante Oberflächendichtung bspw. bei einer Transportentfernung der anzuliefernden Altbetonfertigteile von 100 km um ~ 17 %. Bei 25 km Anfahrt vermindert sich der Energieaufwand um 20 %. Dabei nehmen der Transport der Betonelemente und der Kraneinsatz für das Verlegen der Elemente (auf der wasserseitigen Deichböschung) bei bspw. 100 km Transportentfernung nur etwa 10 % des Energieverbrauchs in Anspruch.

Der Deichneubau mit Innendichtung ist hinsichtlich des Energieaufwandes aufgrund der Herstellung des Streifenfundamentes um 37 % bis 43 % höher als eine herkömmliche Ausführung. Der Einsatz von gebrauchten Betonelementen im Erdbau, speziell im Deichbau, hat sich bewährt. Die Variante Oberflächendichtung eignet sich sowohl für den Neubau als auch zur Erhaltung bestehender Deiche. Die Variante Innendichtung kann aus ökologischen Gründen für den Deichneubau nicht empfohlen werden. Zu analysieren ist deshalb im Weiteren die Erhaltungstauglichkeit.

Als Fugenmaterial sollte Bentonit erprobt werden.

- Baustoff- / Materialrecycling

1. Bauabfälle (Bodenaushub, Straßenaufbruch, Bauschutt, gemischte Bau- und Abbruchabfälle) stellen mit knapp 60 % mengenmäßig den größten Anteil am gesamten Abfallaufkommen in Deutschland dar.
 Von den jährlich i. M. angefallenen 78,6 Mio. t Bau- und Abbruchabfällen der Fraktionen Bauschutt, Straßenaufbruch und gemischte Bau- und Abbruchabfälle wurden ~ 55,1 Mio. t (70,1 %) in RC-Anlagen aufbereitet / recycelt, 14,6 Mio. t (18,6 %) direkt verwertet und 8,9 Mio. t (11,3 %) deponiert. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Verwertungsquote von fast 89 %.
2. Mit den erzeugten RC-Baustoffen aus Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfällen konnten jährlich durchschnittlich ~ 10 % der primären Rohstoffe (Gesteinskörnungen) ersetzt werden. Aber noch ca. 10 – 11 Mio. t wurden jährlich im Durchschnitt durch die Beseitigung auf Deponien dem Wirtschaftskreislauf entzogen.

3. RC-Baustoffe werden hauptsächlich im Straßen-, Erd- und Wegebau eingesetzt. Über 40 % wurden in Tragschichten und Frostschutzschichten verbaut, rund 45 % sind im Erd- und Landschaftsbau verwertet worden. Im Betonbau kamen etwa 4,9 % als Gesteinskörnung zur Anwendung.
4. Die Verwertung hat ordnungsgemäß und schadlos zu erfolgen und ist deshalb an bautechnische und umweltverträgliche Anforderungen je nach Einsatzzweck und –gebiet auszurichten. Hinsichtlich der bautechnischen Anforderungen existiert inkl. der Qualitätssicherung ein bundesweites Vorschriftensystem.
Im Hinblick auf die Eluierbarkeit der Rezyklate existieren keine bundeseinheitlichen Regelungen. Neben den unterschiedlichen länderspezifischen Vorgaben orientiert sich jedoch die Mehrheit der Länder an der LAGA M 20.
Insofern gestaltet sich die Nachweisführung in ihrem Umfang und der Häufigkeit der durchzuführenden Analysen unterschiedlich. Im Extremfall kann aufgrund der Überschreitung eines Parameters der mineralische Abfall von der Verwertung ausgeschlossen werden, welcher im benachbarten Bundesland gar nicht überprüft wird.
Vor diesem Hintergrund und unter Einbindung aktueller gesetzlich geregelter Anforderungen zum Boden- und Grundwasserschutz arbeitet das Bundesumweltministerium an einer Ersatzbaustoffverordnung, mit der eine Harmonisierung der Regelungen auf Bundesebene verfolgt wird, um Rechtssicherheit über die Verwertungsanforderungen zu schaffen und Wettbewerbsverzerrungen auszuschließen.
5. Eine hochwertige stoffliche Verwertung von RC-Gesteinskörnungen, wie die zur Herstellung von RC-Beton, erfordert einen qualifizierten Abbruch mit Getrennthaltung der Materialarten bereits am Abbruchobjekt, deren selektive Aufbereitung und getrennte Lagerung.
Die Anforderungen, die an die Zusammensetzung für eine rezyklierte Gesteinskörnung nach Liefertyp 1, DIN 4226-100 (≥ 90 M-% Betonsplitt) gestellt werden, erfüllt nicht einmal der erzeugte Bauschutt aus Plattenbauten mittels selektivem Abbruch. Deshalb kommt der Sortierung während der Aufbereitung ein besonderer Stellenwert zu.
Mittels krangeführtem Rückbau hingegen kann an der Rückbaubaustelle eine absolute Gleichmäßigkeit des Ausgangsmaterials für die Aufbereitung sichergestellt werden – sofern eine Nachnutzung als Bauteil nicht nachgefragt ist.
6. Die Qualität der Rezyklate kann durch den Aufbereitungsprozess so gesteuert werden, dass keine Defizite gegenüber Primärrohstoffen bestehen.
Bspw. kann der anhaftende Zementstein am Gesteinskorn im Aufschlussverfahren (Abrasion) behandelt werden.
7. Da Brechsande < 2 mm bei der Aufbereitung von Bauschutt in relativ hoher Größenordnung (ca. 35 – 40 %) anfallen, eine Verwertung in Betonen gemäß DIN ausgeschlossen ist, es aber nur wenige Verwertungsmöglichkeiten gibt, sind eine Reihe experimenteller Untersuchungen zur Feinstzerkleinerung durchgeführt worden, um sie bspw. als Rohstoffkomponente für die Herstellung von Zement, als Zusatzstoff für Leichtbeton und im selbstverdichtenden Beton einzusetzen. Die Versuchsergebnisse liefern vielversprechende Anwendungsbereiche.

Für die Recyclingpraxis bedeutet dies, die Feinstmahlung in den Prozess der Aufbereitung zu integrieren. Eine Investition wird jedoch erst dann sinnvoll, wenn das Produkt nachgefragt wird. Alternativ bietet es sich an, den Zementklinker zusammen mit dem Brechsand zu vermahlen, um somit einen Portlandkompositzement herzustellen.

8. Die normativen Grundlagen zur Herstellung von RC-Beton sind in Deutschland seit 2004 vorhanden. Trotzdem hat sich der RC-Beton in Deutschland noch nicht etabliert.

Als Hauptursache sind neben betriebswirtschaftlichen Gründen die veränderten Eigenschaften von RC-Betonen im Vergleich zu (Normal-)Referenzbetonen zu nennen. Dazu zählen:

- überwiegend der Druckfestigkeitsabfall um 10 – 30 % je nach Zusammensetzung der Gesteinskörnung, Größtkorndurchmesser, Zementgehalt, w/z-Wert etc.,
- die Verminderung des E-Moduls um 20 bis 50 % in Abhängigkeit der Zusammensetzung der aufbereiteten Gesteinskörnung,
- überwiegend Abnahme aber auch Zunahme der Zugfestigkeit; rezyklierter Sand < 4 mm bewirkt eindeutig eine Abminderung,
- Kriechen und Schwinden erhöhen sich um 30 bis 40 % bedingt durch das höhere Verformungsverhalten von Brechsand.

9. Die ökologischen Untersuchungen zum RC-Beton machen deutlich, dass keine signifikanten Umweltentlastungen gegenüber Referenzbetonen entstehen. RC-Betone weisen einen etwas höheren Energieverbrauch und ein höheres Treibhauspotenzial auf. Ursächlich dafür ist der erhöhte Zementgehalt. Der Anteil des Treibhauspotenzials ist zu 95 % auf den Zement, zu 2 % auf die RC-Gesteinskörnungen, zu 1 % auf Kies / Sand und zu je 1 % für den Transport der Gesteinskörnungen zurückzuführen.

Allerdings werden durch die Verwertung von RC-Gesteinskörnungen natürliche Ressourcen geschont (in Abhängigkeit des Anteils des Rezyklats und des Zementgehaltes um 24 – 44 % pro m³ Beton) und infolgedessen der Flächenverbrauch reduziert.

11.1 Fazit

- Für das Produktrecycling

Vor dem Hintergrund, eine möglichst hohe Ressourcenproduktivität zu erzielen, ist die Wieder- und Weiterverwendung von Betonelementen eine echte alternative und ergänzende Lösung zum herkömmlichen Bauen.

Dieses Ergebnis resultiert aus der Bewertung der Materialeffizienz und der Suffizienz.

Die mit der Ressourcenschonung einhergehende Verminderung der Umweltbelastung wird durch die Einsparung des energieintensiven Baustoffs Beton erzielt.

Die Fakten

- Zunahme von krangeführten Rückbaumaßnahmen zur Leerstandsreduzierung von Plattenbauten im Zusammenhang mit der Aufwertung des verbleibenden Bestandes,

- des verfügbaren Potenzials der im Zuge der Leerstands-beseitigung rückgewinn- und wiederverwendbaren Sekundärbauteile in den kommenden Jahren sowie
 - die hohen Gebrauchseigenschaften der Betonelemente,
 - verbesserte Auslastung der Langlebigkeit der Betonelemente,
 - die Umsetzung des höchstwertigen Zieles der Abfallvermeidung nach KrW-/AbfG und Abfallrahmenrichtlinie durch Wiederverwendung,
 - flexible Einsatzmöglichkeiten,
 - Substitution von Primärrohstoffen und damit Reduzierung des Energieaufwandes für Betonproduktion um 95 % inkl. der Verminderung klimabedingter Koppelprodukte um ~ 97 %,
 - Kosteneinsparungen für den Rohbau von 10 bis 30 % und der sich daraus ergebenden Kostenvorteile gegenüber dem Neubau
- sprechen für sich.

Dennoch wird das mögliche Potenzial bzw. diese Bauteilquelle aus dem Bestand derzeit nicht annähernd ausgeschöpft – trotz – und das ist für die erfolgreiche Verbreitung des Wiederverwendungskonzeptes verantwortlich – der wirtschaftlich interessanten Komponente.

Auch und gerade hinsichtlich der Diskussion zum Klimaschutz kommt der Nutzung des anthropogenen Rohstofflagers in höchstwertiger Recyclingform nicht die Bedeutung zu, die ihr im Zusammenhang mit der Veränderung der Plattenbauten im Zuge des Stadtumbaus gebührt.

Deshalb sind einige Weichenstellungen erforderlich wie die Verbesserung

- der baurechtlichen Rahmenbedingungen,
- der staatlichen Förderanreize durch differenzierte Förderung für Demontagen und Abbruch,
- der logistischen Prozesse im Hinblick auf eine optimale Vermarktung der gebrauchten Betonelemente.

- Für das Materialrecycling

Die seit Jahren bemerkenswert hohen Verwertungsquoten tragen in deutlichem Maße zur Ressourcenschonung bei. Insbesondere im Straßen-, Wege- und Landschaftsbau wurden erhebliche Größenordnungen mineralischer Rezyklate verbaut von ansonsten erforderlichen Primärrohstoffen.

Im Hinblick auf das Verwertungsniveau besteht jedoch generell ein Defizit. Vor allem betrifft dies den Betonbruch aus dem Hochbau, der erst durch den wiederholten Einsatz in Form von RC-Gesteinskörnungen im Betonbau eine gleichwertige Verwertung erfährt.

Hinsichtlich der in absehbarer Zeit nur noch eingeschränkten Verwertungsmöglichkeiten – infolge der strengeren Grenzwerte für Schadstoffkonzentrationen in Rezyklaten zum vorsorgenden Schutz des Grundwassers und des Bodens – ist es notwendig, den Einsatz von RC-Gesteinskörnungen in gebundener Form, in Betonen, weiter zu unterstützen.

Gerade der anfallende Betonabbruchschutt aus Plattenbauten bietet eine qualitative und quantitative Ausgangsbasis.

Unter dem Ansatz, dass bis 2016 weitere 350.000 industriell errichtete Wohnungen in Ostdeutschland überschüssig werden und deshalb abzurechen sind, würden ca. 28 Mio. t Betonabbruchschuttmas-

sen entstehen. Im Mittel wären dies ca. 3,5 Mio. t Betonabbruch pro Jahr bis 2016. Dies entspräche zwar lediglich einer Substitutionsrate von natürlichen Gesteinskörnungen in Betonprodukten in Höhe von ~ 2,5 % (~ 140 Mio. t Gesteinskörnungen werden jährlich zur Betonherstellung benötigt), aber die Verwertung auf gleichem Niveau bliebe erhalten.

Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass zukünftig die in ganz Deutschland in den 1950er, 1960er und späteren Baujahren erstellten Betonbauten den Anteil an Betonabbruch im Bauschutt deutlich erhöhen werden.

Insgesamt betrachtet kann somit weiterhin von einer stabilen bis ansteigenden Betonschuttmenge ausgegangen werden.

Insofern sind die derzeitigen Hemmnisse für den Einsatz von RC-Gesteinskörnungen im Betonbau zu überprüfen und im Detail zu kommunizieren.

Ein Ansatzpunkt zur Optimierung der RC-Betonherstellung besteht darin, den Zementgehalt in Richtung Mindestzementgehalt zu verringern.

Die vorliegenden Ergebnisse sollen Anregung dafür sein, in erster Linie der Wiederverwendung von Betonelementen und in zweiter Linie der Wiederverwertung von RC-Gesteinskörnungen im Betonbau einen hohen Stellenwert im Rahmen der Diskussion zum nachhaltigen Wirtschaften auf dem Bausektor einzuräumen.

Die Organisation und das Management bedürfen einer Weiterentwicklung, um eine verbesserte Marktfähigkeit und Akzeptanz zu erreichen.

11.2 Schlussfolgerungen

Das Anliegen der Arbeit bestand insbesondere darin, den ganzheitlichen Charakter des Produkt- und Materialrecyclings zu verdeutlichen, bestimmte Problemschwerpunkte zu erkennen und weiterführende Aufgabenfelder abzuleiten. Dazu zählen u.a.

- **für das Betonelementerecycling (Produktrecycling)**

- die Erarbeitung von normativen Grundlagen, die den Aufwand zur Genehmigung des Wiedereinsatzes von Betonelementen je nach Einsatzzweck verringern,
- die Entwicklung von praktischen und preisgünstigen Messverfahren zur Bestimmung der Dämmstoffart in Außenwänden im eingebauten Zustand,
- die Schaffung einer Plattform (z.B. Bauelementebörse), um Angebot und Nachfrage von Betonelementen zu forcieren,
- die Entwicklung von Wiederverwendungsprojekten, z.B. für Bauten im Katastrophenschutz,
- die Weiterentwicklung der Anwendungsbereiche für gebrauchte Betonelemente wie z.B. im Deichbau u.a. Bereichen,
- die Schaffung von weiteren Pilotprojekten;

- **für das Materialrecycling**

- die Analyse der Prozesskette Abbruch / Rückbau bis zur Verwertung von RC-Gesteinskörnungen im Beton, um Absatzbedingungen für die hochwertige Verwertung und von Schwachstellen hinsichtlich der Exposition von evtl. Kostenerhöhungen u./o. Qualitätsminderungen zu ermitteln,
- die Entwicklung von bundeseinheitlichen Verwertungsanforderungen in technischen Bauwerken in ungebundener Form;

- **für das Produkt- und Materialrecycling**

- die Entwicklung bzw. der Ausbau / Vereinheitlichung von Qualitätssicherungssystemen, z. B. einer RAL für den krangeführten Rückbau.

Zukünftig sind demontage- und recyclinggerechte Bauweisen zu entwickeln.

Die Ausbildung und die Lehre an Hochschulen und Universitäten muss sich auf die neue Ausrichtung des nachhaltigen Bauens einstellen. Das Lehrangebot ist den neuesten Entwicklungen und den veränderten praktischen Bedingungen anzupassen. Der nachhaltige Umgang mit dem Baubestand ist ein wirtschaftliches und ökologisches Handlungserfordernis.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung	EU	Europäische Union
AbfG	Abfallgesetz	FG	Fachgruppe
Abs.	Absatz	FZK	Fahrzeugkran
AK	Arbeitskraft	GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
allg.	allgemein	gem.	gemäß
AVV	Abfallverzeichnis-Verordnung	GFS	Geringfügigkeitsschwellenwert
AW	Außenwand	ggf.	gegebenenfalls
B	Breite	H	Höhe
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung	Hrsg.	Herausgeber
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz	i. Allg.	im Allgemeinen
BE	Betonelement	i. d. R.	in der Regel
BHW	Bemessungshochwasser	i. M.	Im Mittel
bspw.	beispielsweise	IEMB	Institut für Erhaltung und Moderni- sierung von Bauwerken e.V.
bzgl.	bezüglich	inkl.	inklusive
BZS	Bauzustandstufe	IW	Innenwand
bzw.	beziehungsweise	K	Kosten
ca.	circa	Kap.	Kapitel
ChemG	Chemikaliengesetz	k.A.	keine Angaben
D	Dicke	KEA	Kumulierter Energie-Aufwand
Def.	Definition	KG	Kellergeschoss
d.h.	das heißt	KI	Kanzerogenitätsindex
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft	KMF	künstliche mineralische Fasern
DG	Dachgeschoss	kW	Kilowatt
DH	Doppelhaus	KWTB	Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirt- schaftsträger Bau
DIN	Deutsches Institut für Normung	L	Länge
div.	divers	lfdm.	laufender Meter
DKP	Dachkassettenplatte	LGBW	Leichte Geschossbauweise Cottbus
DP	Deckenplatte	li.	links
E	Energieaufwand	LS	Lehrstuhl
EfbV	Entsorgungsfachbetriebsverordnung	lt.	laut
EFH	Einfamilienhaus	max.	maximal
EG	Erdgeschoss	MFH	Mehrfamilienhaus
EgRL	Entsorgungsgemeinschaftenrichtlinie	min.	minimal
einschl.	einschließlich	min.	Minute
EK	Einbauklasse	Mio.	Millionen
EM	Emissionen	MP	Messpunkt
entspr.	entsprechend / entspricht	Mrd.	Milliarden
EP	Eckpunkt	MW	Mauerwerk
et.al.	et alterae (und andere)	n	Anzahl
etc.	et cetera	n.e.	nicht erfüllt / nicht ermittelt

NachwV	Nachweisverordnung	Var.	Variante
NG	Normalgeschoss	vgl.	vergleiche
o.a.	oben aufgeführt	VwVws	Verwaltungsvorschrift wassergefährdender Stoffe
OG	Obergeschoss	WBK	Wohnungsbaukombinat
OK	Oberkante	WBS	Wohnungsbauserie
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe		
PEI	Primärenergiegehalt	WE	Wohneinheit
Pkt.	Punkt	Wfl.	Wohnfläche
PVC	Polyvinylchlorid	WGK	Wassergefährdungsklasse
RAL	Reichsausschuss für Lieferbedingungen, heute das „Deutsche Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.“	WHG	Wasserhaushaltsgesetz
RC	Recycling	WV	Wiederverwendung
rd.	rund	z.B.	zum Beispiel
Re	Remontage	z.T.	zum Teil
RE	Raumelement		
re.	rechts		
resp.	respektive		
RH	Reihenhaus		
RoRo	Roll-on-Roll-off		
s.	siehe		
S.	Seite		
SBB	Sonderabfallgesellschaft Berlin/Brandenburg mbH		
sog.	so genannt		
spez.	spezifisch		
Stck.	Stück		
Std.	Stunde		
Tab.	Tabelle		
TDK	Turmdrehkran		
teilw.	teilweise		
TGL	Technische Güte- und Lieferbedingungen in der DDR		
TgV	Transportgenehmigungsverordnung		
TM	Trockenmasse		
TS	Trockensubstanz		
TUL	Transport, Umschlag, Lagerung		
u.a.	und andere		
u.ä.	und ähnliche		
u.v.a.	und viele andere		
usw.	und so weiter		
v.a.	vor allem		

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Bau- und Abbruchabfälle - Kategorien.....	13
Abb. 2.2: Quellen mineralischer Abfälle	14
Abb. 2.3: Darstellung der angestrebten Kreislaufführung	16
Abb. 2.4: Zuordnung von Maßnahmen zur nachhaltigen Entwicklung von Gebäuden unter Einbeziehung relevanter Regelungen des KrW-/AbfG.....	17
Abb. 2.5: Wohneinheiten in Gebäuden mit Wohnraum nach Baujahr	20
Abb. 2.6: Anteil Wohneinheiten in Mietwohneinheiten nach Baujahr in den neuen Bundesländern (Stand 2006).....	21
Abb. 3.1: Wohnungsleerstand 1995 in Ostdeutschland und Berlin (Ost).....	23
Abb. 3.2: Leerstehende Wohnungen 1995 nach Baualter	24
Abb. 3.3: Wohnungsleerstände im Geschosswohnungsbau in Ostdeutschland und Berlin-Ost, 1992, 1995, 1998	26
Abb. 3.4: Regionale Leerstandsquoten	27
Abb. 3.5: Entwicklung Wohnungsleerstand auf den insgesamt bewirtschafteten Wohnungsbestand der im GdW vertretenen Wohnungsunternehmen	28
Abb. 3.6: Wohnungsleerstand in den Stadtumbaukommunen 2005 nach Gebietstypen	28
Abb. 3.7: Bewertung der Wohnungsnachfrage in den Stadtumbaukommunen	29
Abb. 3.8: Künftiges Wohnungsleerstandrisiko im vermieteten Geschosswohnungsbestand bis 2020	29
Abb. 3.9: Geburtsziffer bis 2050, Kinder je Frau	30
Abb. 3.10: Zuwachs des Wohnungsbestandes durch Wohnungsbau	32
Abb. 3.11: Concierge, Cottbus	35
Abb. 3.12: Mietergärten, Berlin.....	35
Abb. 3.13: Wohnhaus mit Tiefgarage (Entwurf S & P Sahlmann)	36
Abb. 3.14: Wohnhaus mit Tiefgarage in Plauen (Planung: Prof. W. R. Eisentraut).....	36
Abb. 3.15: Dresden-Gorbitz „Kräutersiedlung“ – alter Zustand (li.), Zwischenstand (mi.), Zustand nach dem Rückbau (re.)	36
Abb. 3.16: Abbruch eines 11-Geschossers vom Typ P2 mittels Hydraulikbagger und Long-Front- Ausleger in Cottbus-Sachsendorf, 2003 (li.); mittels Hydraulikbagger und Abbruchstiel in Cottbus-Stadtring, 2007 (re.).....	37
Abb. 4.1: Schematische Darstellung möglicher Teilrückbauvarianten	42
Abb. 4.2: Schematische Darstellung der Zuordnung des krangeführten Rückbaus als spezifische Form des Abbruchs	44
Abb. 4.3: Konstruktionsprinzipien der industriellen Bauarten im Wohnungsbau in den neuen Ländern	45
Abb. 4.4: Schematische Darstellung der Lage der Schweißverbindungen der Plattenbauelemente ..	47
Abb. 4.5: Verbindung Außenwände – Innenwand.....	48
Abb. 4.6: Verbindung Decke – Decke längs zur Spannrichtung	48
Abb. 4.7: Geschlossenes Fugensystem.....	48

Abb. 4.8: Offenes Fugensystem	49
Abb. 4.9: Planungsphasen für Rückbauvorhaben.....	51
Abb. 4.10: Prinzipieller Demontageablauf bei Teil- und Komplettrückbau	52
Abb. 4.11: Demontagestufen.....	53
Abb. 4.12: Grafische Darstellung der Kostenentwicklung für TDK und FZK in Abhängigkeit der Gebäudehöhe	58
Abb. 4.13: Kranauslastung Beispiel Demontage – WBS 70	62
Abb. 4.14: Kranauslastung Beispiel Demontage – Blockbau.....	62
Abb. 4.15: Durchstecksystem.....	63
Abb. 4.16: Hebebänder	63
Abb. 4.17: Zange	63
Abb. 4.18: Kostenbetrachtung zum Teilrückbau – Ahrensfelder Terrassen	64
Abb. 4.19: Entwicklung der Rückbaukosten.....	65
Abb. 4.20: Annahmepreise für Stahlbetonbruch (Kantenlänge > 60 cm)	66
Abb. 4.21: Darstellung der anteiligen Kosten für die Demontage	68
Abb. 4.22: Vergleich der Energieaufwände für Demontage und Abbruch für 1 Tonne Betonbauteil..	79
Abb. 4.23: Vergleich der CO ₂ -Emissionen bei der Demontage und beim Abbruch für 1 Tonne Betonbauteil	80
Abb. 4.24: Vergleich der SO ₂ - und NO _x -Emissionen bei der Demontage und beim Abbruch für 1 Tonne Betonbauteil.....	81
Abb. 5.1: Jährliches Entsorgungsaufkommen an Asbest in der Bundesrepublik Deutschland, extrapoliert unter Berücksichtigung des Verarbeitungspfades des Asbests und der mittleren Lebensdauer der Produkte.....	90
Abb. 5.2: Ablaufschema: Wesentliche Schritte von der Schadstofferkundung bis zur Rückbaumaßnahme.....	91
Abb. 5.3: Übersicht zu Behandlungsverfahren zur Asbestfaserzerstörung	94
Abb. 5.4: Technologisches Fließbild zur mechanischen Beanspruchung asbesthaltiger Abfälle	95
Abb. 5.5: Technologisches Fließbild zur mechanisch-technischen Behandlung asbesthaltiger Abfälle	97
Abb. 5.6: Fließschema Versuchsanlage zur mechanisch-thermischen Behandlung asbesthaltiger Abfälle	98
Abb. 5.7: Abwurf kamilitbelasteter Außenwände in ein Kiesbett.....	112
Abb. 5.8: Selektion der KMF-Dämmwolle aus den demontierten Außenwänden auf der Rückbaubaustelle.....	112
Abb. 5.9: Abtrag der kamilitbelasteten Schicht von der AW im eingebauten Zustand.....	112
Abb. 6.1: Vergleich der projektierten mit den ermittelten Betondruckfestigkeiten von Deckenplatten und Innenwänden (WBS 70: Betonalter zwischen 14-23 Jahren, P2: Betonalter zwischen 21-27 Jahren).....	126
Abb. 6.2: Beispiele für mehrere, gleichzeitig zutreffende Expositionsklassen an einem Wohnhaus.	127
Abb. 6.3: Ermittelte Karbonatisierungstiefe an 26 Spannbetondecken und 13 Innenwänden der WBS 70	134

Abb. 6.4: Zwischengelagerte Deckenplatten im Außenbereich	142
Abb. 6.5: Belastungsanordnung und Einrichtung Spannbetondeckenplatte 22006.....	143
Abb. 6.6: Versuchseinrichtung	143
Abb. 6.7: Lage der Krafteinleitungslinien und Messstellen zur Untersuchung des Tragverhaltens...	144
Abb. 6.8: Dehnmessstreifen in der Zugzone	145
Abb. 6.9: Freigelegter Bereich zur Ermittlung der Dehnung des Spannstahls unter Lasteinwirkung	145
Abb. 6.10: Messung der Querkraftspannung	145
Abb. 6.11: Last-Zeit-Diagramm, anlehnend an DIN EN 1356: 1997-2.....	146
Abb. 6.12: Kraft-Weg-Diagramm Spannbetondeckenplatte 1, Elemente-Nr. 22006.....	147
Abb. 6.13: Kraft-Dehnungs-Diagramm Spannbetondecke 1, Elemente-Nr. 22006	147
Abb. 6.14: Belastungsanordnung und Einrichtung Stahlbetondeckenplatte 21120.....	148
Abb. 6.15: Last-Zeit-Diagramm anlehnend an DIN EN 1356: 1997-02.....	150
Abb. 6.16: Kraft-Weg-Diagramm Stahlbetondecke 2, Elemente-Nr. 21120.....	151
Abb. 6.17: Kraft-Dehnungs-Diagramm Stahlbetondecke 2, Elemente-Nr. 21120.....	151
Abb. 6.18: Kraft-Weg-Diagramm Stahlbetondecke 3, Elemente-Nr. 21120.....	152
Abb. 6.19: Kraft-Dehnungs-Diagramm Stahlbetondecke 3, Elemente-Nr. 21120.....	152
Abb. 6.20: Exemplarische Darstellung der Messpunkte und des Belastungsplanes zur Untersuchung des Feuerwiderstandes – Spannbetondeckenplatte 21000.....	163
Abb. 6.21: Brandraum (li.) und Simulation Belastung (re.).....	163
Abb. 6.22: Prüfanordnung / Lage der Brandraummessstellen – Spannbetondeckenplatte 21000....	164
Abb. 6.23: Durchbiegung in Richtung Brandraum – Spannbetondeckenplatten 21000 (P2-Typ)	165
Abb. 6.24: Durchbiegung in Richtung Brandraum – Stahlbetondeckenplatten 21119, 21120 (P2-Typ)	166
Abb. 7.1: Möglichkeiten zur optimalen Nachnutzung von Gebäuden und baulichen Anlagen	169
Abb. 7.2: Untersuchungsprogramm Bauzustand Betonelemente	171
Abb. 7.3: Zum Teil erprobte und denkbare Einsatzbereiche zur Nachnutzung von gebrauchten Betonelementen mit Möglichkeiten der Vermarktung	176
Abb. 7.4: Ermittelte durchschnittliche Trockenmasseänderung der Prüfkörper zum Säurewiderstand (Kurzzeitprüfung).....	185
Abb. 7.5: Ermittelte durchschnittliche Trockenmasseänderung der Prüfkörper zum Säurewiderstand (Langzeitprüfung).....	185
Abb. 7.6: Versuchsaufbau Modell: Eingedeichter Bereich für Wasserhaltung.....	188
Abb. 7.7: Übersicht zu den entwickelten Haupteinsatzvarianten	191
Abb. 7.8: Oberflächendichtung in der Bauphase	192
Abb. 7.9: Innendichtung; Draufsicht und in der Bauphase.....	193
Abb. 7.10: Ausbildung der Überlaufstrecken.....	194
Abb. 7.11: Verlegen des Temperaturkabels.....	195
Abb. 7.12: Installation Pegel.....	195
Abb. 7.13: Gegenüberstellung der Baukosten verschiedener Deichbauvarianten mit Angabe des Energieeinsparpotenzials.....	199

Abb. 7.14: Gegenüberstellung der Baukosten von Überlaufstrecken in verschiedenen Ausführungsvarianten mit Angabe des Energieeinsparpotenzials	199
Abb. 7.15: Geometrien Deichbauvarianten	200
Abb. 7.16: Gegenüberstellung der Energieaufwände für ausgewählte Teilprozesse der entwickelten Deichbauvarianten mit herkömmlicher Ausführung	206
Abb. 7.17: Verteilung wesentlicher Teilprozesse für den Energieaufwand zur Herstellung der Oberflächendichtung.....	206
Abb. 7.18: Verteilung wesentlicher Teilprozesse für den Energieaufwand zur Herstellung der Innendichtung	207
Abb. 7.19: Darstellung möglicher Transportvarianten für einen Bauteiltransport nach St. Petersburg	212
Abb. 7.20: Vergleich der Kosten der verschiedenen Transportkombinationen.....	213
Abb. 7.21: Vergleich der Neuteilpreise für Betonelemente hergestellt in St. Petersburg und den Kosten gebrauchter Betonelemente aus Deutschland nach Var. b) + Var. c) (Transport-, Bereitstellungs- und Prüfkosten).....	214
Abb. 7.22: Transportentfernungen für das jeweilige Transportmittel für einen Bauteiltransport von Cottbus bis St. Petersburg	216
Abb. 8.1: Prozessablauf zur Ermittlung der Kosten und Systemgrenzen für das Öko-Screening Szenario 1 „Nachhaltigkeitsszenario“.....	220
Abb. 8.2: Prozessablauf zur Ermittlung der Kosten und Systemgrenzen für das Öko-Screening Referenzszenarien 2 und 3	221
Abb. 8.3: Abhängigkeit der Transportkosten von der Transportentfernung per LKW/Tieflader (2006 / 2007).....	223
Abb. 8.4: Vergleich Neuteilpreise für Betonelemente mit bereitgestellten, gebrauchten Betonelementen	226
Abb. 8.5: Kostenvergleich Wiederverwendung mit neuen Baumaterialien zur Herstellung von 1 m ² Bauteilfläche.....	230
Abb. 8.6: Bilanzebenen einer Produktökobilanz von Gebäuden.....	232
Abb. 8.7: Vergleich der ermittelten energetisch bedingten SO ₂ - und NO _x -Emissionen der einzelnen Szenarien.....	246
Abb. 8.8: Vergleich der ermittelten energetisch bedingten CO ₂ -Emissionen der einzelnen Szenarien	246
Abb. 8.9: Zusammenfassung der Ergebnisse der Lärmmessungen (L _{eq} Mittelwerte)	248
Abb. 9.1: C&DW arisings (Mtonnes/a) F.I.R.-Mitgliedsstaaten	254
Abb. 9.2: Recycling ratio (%) F.I.R.-Mitgliedsstaaten.....	255
Abb. 9.3: Abfallaufkommen 1996 – 2005 in der BRD	255
Abb. 9.4: Verteilung des Anteils mineralischer Bau- und Abbruchabfälle (ohne Bodenaushub) in der BRD.....	256
Abb. 9.5: Statistisch erfasste Mengen mineralischer Bauabfälle 2004	257
Abb. 9.6: Verbleib (Verwertung und Beseitigung) von Bauschutt und Straßenaufbruch im Jahr 2004	258

Abb. 9.7: Verbleib (Verwertung und Beseitigung) von gemischten Bau- und Abbruchabfällen / Baustellenabfälle und Bauabfälle auf Gipsbasis im Jahr 2004	258
Abb. 9.8: Verbleib (Verwertung und Beseitigung) von Bodenaushub im Jahr 2004	259
Abb. 9.9: Produktion mineralischer Gesteinskörnungen in Deutschland im Jahr 2004: 548,5 Mio. t	259
Abb. 9.10: Rechtlicher Rahmen für die Verwertung von Recyclingbaustoffen in grundwasserrelevanten Einsatzbereichen	263
Abb. 9.11: „Inversion“ der Anforderung	267
Abb. 9.12: Darstellung der Einbauklassen mineralischer Abfälle nach LAGA M 20 ergänzt um das Eckpunkte-Papier der LAGA	276
Abb. 9.13: Verwertungsmöglichkeiten mineralischer Abfälle für den eingeschränkten offenen Einbau nach LAGA M 20 für Z1.1	278
Abb. 9.14: Verwertungsmöglichkeiten mineralischer Abfälle für den eingeschränkten Einbau mit definierten technischen Sicherheitsmaßnahmen nach LAGA M 20 für Z2	279
Abb. 9.15: Zuordnung der Qualitätsklassen verschiedener länderspezifischer Regelungen anhand der LAGA M 20	281
Abb. 9.16: Bewertung von Betonproben hinsichtlich der Einbaumöglichkeiten nach verschiedenen Regelwerken	285
Abb. 9.17: Wasseraufnahme von Betonsplitten hergestellt in verschiedenen Brechern	294
Abb. 9.18: Wasseraufnahme von Betonsplitten	294
Abb. 9.19: Ergebnisse des ökobilanziellen Vergleichs von Betonen mit und ohne rezyklierter Gesteinskörnung	303
Abb. 10.1: Beispielhafte Nennung von Zielen für das Nachhaltige Bauen	307
Abb. 10.2: Forderungen an die Strategie beim Entwickeln von recyclinggerechten Konstruktionen im Hochbau	312
Abb. 10.3: Nachhaltige Kreislaufführung mineralischer Baustoffe	313

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: Anzahl der WE in Fertigteilsystemen nach Typenserien, Baujahr und Bundesland (SCHULZE, 1996).....	21
Tab. 3.1: Wohnungsbestand und Wohnungsleerstände in Ostdeutschland 1998	25
Tab. 3.2: Lebendgeborene und Gestorbene in den neuen Ländern	31
Tab. 3.3: Realisierter Abriss von Wohnungen im Rahmen des Stadtumbaus in Ostdeutschland	40
Tab. 4.1: Ausgewählte Kennzahlen der Gebäudetypen PN 36-NO, P2, WBS 70 und IW 64	50
Tab. 4.2: Ermittelte Veränderungen der Elementegewichte bei Demontagen gegenüber den Projektierungsunterlagen in [%]	57
Tab. 4.3: Vergleich der Kosten und Ermittlung des Break-even-points für den Einsatz von TDK und FZK (Werte gerundet)	57
Tab. 4.4: Ermittelte kranunabhängige Zeiten / Zeitaufwand zur Vorbereitung der Bauelemente auf ihre Demontage (Werte gerundet)	59
Tab. 4.5: Ermittelte Kranspielzeiten (Anschlagen, Abheben, Abschlagen, Rückführen des Lastaufnahmemittels) für die Demontage von Betonelementen in Platten- und Blockbauten verbaut	60
Tab. 4.6: Gegenüberstellung der ermittelten gesamten Demontagezeiten	61
Tab. 4.7: Prozentualer Anteil der Kosten für Baustelleneinrichtung, Geräteeinsatz, Personal und Entsorgung an den Gesamtkosten an Fallbeispielen	67
Tab. 4.8: Schadensbilder an demontierten Deckenplatten	70
Tab. 4.9: Mögliche Schadensbilder an demontierten Innenwandelementen	71
Tab. 4.10: Mögliche Schadensbilder an demontierten Außenwandelementen.....	72
Tab. 4.11: Energieaufwand zur Demontage eines 6-geschossigen Wohnblocks der WBS 70 mit 4 Segmenten / 4 Eingängen (Werte gerundet)	76
Tab. 4.12: Energieaufwand für den Abbruch eines 6-geschossigen Wohnblocks vom Typ WBS 70.	77
Tab. 4.13: Quellen, Verursacher und Wirkungen klimarelevanter Stoffe.....	78
Tab. 4.14: Emissionsdaten für Elektroenergiemix und Diesel, [GEMIS 4.5, Stand Februar 2009].....	78
Tab. 4.15: Emissionen bei der Demontage und Abbruch eines Wohnblocks der WBS 70 (6-geschossig, 4 Eingänge) (Werte gerundet).....	79
Tab. 5.1: Rezepturen von Morinol-Fugenkitten Typen GH und GH / PE:	88
Tab. 5.2: Übersicht über mechanische Behandlungsverfahren und der erzielten faserfreien Produkte [erweitert nach JORDAN-GERKENS]	96
Tab. 5.3: Spezifische Kenndaten und Umwandlungsbereiche der Asbeste	97
Tab. 5.4: Gegenüberstellung ausgewählter Kennwerte von Glas-, Schlacken- und Steinwolle	106
Tab. 5.5: Schnelltests für Teer, PAK	116
Tab. 5.6: Länderregelungen zur Überlassungs- / Andienungspflicht für gefährliche Abfälle zur Entsorgung (Beseitigung und Verwertung).....	119
Tab. 5.7: Einordnung der Abfälle in die AVV mit Hinweisen zur Entsorgung und zum Forschungsbedarf	120

Tab. 6.1: Geometrische Kennwerte der Außenwandelemente der Wohnungsbauserien WBS 70 und P2	121
Tab. 6.2: Geometrische Kennwerte der Innenwandelemente der Wohnungsbauserien WBS 70 und P2	122
Tab. 6.3: Geometrische Kennwerte der Deckenelemente der Wohnungsbauserien WBS 70 und P2	122
Tab. 6.4: Übersicht über die Betonfestigkeitsklassen nach TGL, DIN und DIN EN.....	123
Tab. 6.5: Vergleich der projektierten mit den ermittelten Betondruckfestigkeitsklassen an Deckenplatten und Innenwänden vom Gebäudetyp P2 und WBS 70	124
Tab. 6.6: Anforderungen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-1 an die Betonfestigkeitsklasse und an die Mindestbetondeckung – Bewertung der Altbetonelemente in Vorbereitung ihrer sekundären Einsetzbarkeit [Auszug aus DIN 1045-1: 2001-07, Tab. 3, 4]	128
Tab. 6.7: Anforderungen aus DIN EN 206-1/DIN 1045-1 an die Betonfestigkeitsklasse eingesetzter Altbetonelemente im Deichbau	130
Tab. 6.8: Anforderungen an die Mindestbetondeckung zum Schutz gegen Korrosion in Abhängigkeit von der Expositionsklasse [Auszug aus DIN 1045-1, Tab. 4].....	131
Tab. 6.9: Entscheidungstabelle zur Quantilbestimmung für den quantitativen Nachweis	132
Tab. 6.10: Zusammenstellung der Auswertung der Messergebnisse zur festgestellten/ vorhandenen Betondeckung in Abhängigkeit der Expositionsklasse	132
Tab. 6.11: Gemessene Karbonatisierungstiefen.....	133
Tab. 6.12: Überblick über die geprüften Altbetonplatten – rechnerische und experimentelle Nachweise zur Trag- und Nutzfähigkeit.....	136
Tab. 6.13: Lastannahmen.....	139
Tab. 6.14: Spannbetondecken – Ergebnisse der rechnerischen Nachweise zur Tragfähigkeit	140
Tab. 6.15: Untersuchte Deckenplatten.....	141
Tab. 6.16: Synopse zur Tragfähigkeit von ausgewählten Stahlbetondeckenplatten nach TGL 11422 und DIN 1045-1.....	141
Tab. 6.17: Anforderungen und Ist-Werte zum Luft- und Trittschallschutz für Bauteile des P2-Typs (Standardkonstruktion).....	156
Tab. 6.18: Wärmeschutz – Bewertung der Bestandssituation	159
Tab. 6.19: Ergebnisse der Brandversuche.....	165
Tab. 7.1: Entscheidungsstufen zur Wiederverwendungseignung von Betonelementen.....	170
Tab. 7.2: Eignung der Bauteile zur sekundären Verwendung.....	172
Tab. 7.3: Beispiele für Wieder- / Weiterverwendungsmaßnahmen	178
Tab. 7.4: Geometrische Parameter ausgewählter Decken und Innenwände aus WBS 70/11 und P2/5 und deren Anteil an der Gesamtzahl der verbauten Betonelemente im jeweiligen Gebäudetyp (Wieder- u./o. Weiterverwendungspotenzial).....	183
Tab. 7.5: Gegenüberstellung der Baukosten verschiedener Deichbauausführungsvarianten.....	197
Tab. 7.6: Gegenüberstellung der Baukosten zur Herstellung von Überlaufstrecken verschiedener Ausführungsvarianten	198
Tab. 7.7: Flächen- und Bodenverbrauch verschiedener Deichbauvarianten.....	200

Tab. 7.8: Energieaufwand für den Transport bezogen auf die Herstellung von 100 m Deich	202
Tab. 7.9: Energieaufwand für den Kraneinsatz zur Herstellung der entwickelten Deichbauvarianten für 100 m Länge Deich	202
Tab. 7.10: Energieaufwendungen für Transport und den Einbau der RC-BE.....	203
Tab. 7.11: Energieaufwand für den Betoneinsatz in den einzelnen Ausführungsvarianten bezogen auf die Herstellung von 100 m Deich	204
Tab. 7.12: Energieaufwände für die einzelnen Ausführungsvarianten	205
Tab. 7.13: Kostenschätzung zum Bau eines EFH mit neuen Betonfertigteilen und mit RC- Betonelementen in Russland	215
Tab. 7.14: Energieaufwände der verschiedenen Transportmittel	216
Tab. 7.15: Gegenüberstellung Energiebedarf der beiden kostengünstigsten Transportvarianten für den Bau eines EFH (116 m²) mit 36 RC-BE.....	217
Tab. 8.1: Verbaute Decken und Innenwände im 4. und 5. Geschoss eines P2-Gebäudes.....	219
Tab. 8.2: Baukosten für Decken und Wände nach BKI.....	224
Tab. 8.3: Übersicht der ermittelten Kosten zu den einzelnen Positionen	225
Tab. 8.4: Kosten für Szenario 1	227
Tab. 8.5: Kosten für Szenario 2	227
Tab. 8.6: Kosten für Szenario 3.....	228
Tab. 8.7: Kostengegenüberstellung Wandherstellung aus Ziegelmauerwerk mit gebrauchten Innenwandelementen.....	229
Tab. 8.8: Wirkkategorien zur Abschätzung der Umwelteinwirkungen - Beispiele.....	232
Tab. 8.9: Materialeinsparung bei Wiederverwendung von Betonelementen dargestellt am Fallbeispiel	234
Tab. 8.10: Materialintensität für eine Spannbetondecke aus den P2-Typ	235
Tab. 8.11: Energetischer Inhalt der RC-Betonelemente	236
Tab. 8.12: Energetischer Aufwand für die Demontage und den Abbruch von 12 WE.....	236
Tab. 8.13: Durchschnittlicher Energiebedarf für Teile einer Aufbereitungsanlage für mineralische Bauabfälle	237
Tab. 8.14: Energiebedarf für den LKW-Transport: von/vom Demontagebaustelle – Spendergebäude bzw. Abbruchstelle zur/zum RC-Anlage/Baustelle/Empfängergebäude/Zwischenlager .	238
Tab. 8.15: Zusammenstellung der ermittelten Energieaufwände je Tonne Bauteil	239
Tab. 8.16: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 1	239
Tab. 8.17: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 2	240
Tab. 8.18: Berechnung des Gesamtenergieaufwandes für das Szenario 3	241
Tab. 8.19: Gegenüberstellung der ermittelten energetischen Aufwände der untersuchten Szenarien	241
Tab. 8.20: Energetisch bedingte Emissionen zur Neuherstellung 1 Tonne Fertigteilbeton	242
Tab. 8.21: Energetisch bedingte Emissionen für die stoffliche Aufbereitung je Tonne Bauteil.....	242
Tab. 8.22: Energetisch bedingte Emissionen aus Transportleistungen	243
Tab. 8.23: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für 1 t Bauteil	243

Tab. 8.24: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 1	244
Tab. 8.25: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 2	244
Tab. 8.26: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für das Szenario 3	245
Tab. 8.27: Zusammenstellung der ermittelten energetisch bedingten Emissionen für alle Szenarien	245
Tab. 9.1: Produktgruppen mit Kurzbezeichnungen nach BRB-Richtlinien, Einsatzgebiete und bautechnische Anforderungen	268
Tab. 9.2: Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100 [Tab. 1 und 2 zusammengefasst]	270
Tab. 9.3: Gegenüberstellung der Eluationsverfahren	283
Tab. 9.4: Gegenüberstellung von Zuordnungs- / Grenzwerten für die Verwertung von mineralischen Abfällen (Bauschutt) anhand verschiedener Regelwerke	284
Tab. 9.5: Zuordnung der Betonproben zu Verwertungsmöglichkeiten nach verschiedenen Regelwerken der Länder	286
Tab. 9.6: Zulässige Anteile rezyklierter Gesteinskörnungen > 2 mm, bezogen auf die gesamte Gesteinskörnung (Vol.-%)	290
Tab. 9.7: Internationale Regelwerke und Anwendungsgrenzen für Recyclingbeton in den unterschiedlichen Ländern (Stand 2002)	291
Tab. 9.8: Schlagzertrümmerungswerte von Betonsplitten hergestellt in verschiedenen Brechern	295
Tab. 9.9: Indikationswerte	303

Literaturverzeichnis

1. Statusbericht der Bundestransferstelle: Stadtumbau Ost – Stand und Perspektiven, Bundestransferstelle Stadtumbau Ost, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Berlin, Januar 2006
 2. Statusbericht der Bundestransferstelle: 5 Jahre Stadtumbau Ost – eine Zwischenbilanz, Bundestransferstelle Stadtumbau Ost, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Berlin, Mai 2007
 3. Statusbericht der Bundestransferstelle: Perspektiven für die Innenstadt im Stadtumbau, Bundestransferstelle Stadtumbau Ost, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Berlin, Juni 2008
 37. St. Gallen Symposium vom 31.05.-02.06.2007 [www.stgallen.symposium.org/de]
 4. Monitoring-Bericht Bauabfälle (Erhebung 2002): Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau (ARGE KWTB), Berlin, 31. Oktober 2005
 5. Monitoring-Bericht Bauabfälle (Erhebung 2004): Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaftsträger Bau (ARGE KWTB), Berlin, 28. Februar 2007
- Abfallratgeber Bayern, KMF, Bayerisches Landesamt für Umwelt (BayLfU), Februar 2008
- Al-Ahdab, Jacqueline: Das Projekt „Ahrensfelder Terrassen“, WBG Marzahn, Unternehmensunterlagen, Berlin, 2005
- Arbeitsgemeinschaft der Sonderabfall- Entsorgungs-Gesellschaften der Länder (AGS) [www.info-ags.de/andienung.html]
- Arbeitshilfen Recycling – Arbeitshilfen zum Umgang mit Bau- und Abbruchabfällen sowie zum Einsatz von Recycling-Baustoffen auf Liegenschaften des Bundes, Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und Bundesministerium der Verteidigung, 31. Oktober 2008
- Arbeitshilfen Recycling - Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Bauabfällen bei Planung und Ausführung von baulichen Anlagen, Hrsg. Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, 1998
- Asam, Claus; Biele, Herve; Liebchen, Jens: Untersuchungen der Wiederverwendungsmöglichkeiten von demontierten Fertigteilenelementen aus Wohnungsbautypen der ehemaligen DDR für den Einsatz im Wohnungsbau, IEMB, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2005
- Asbest Hockenheim, Umweltministerium Baden-Württemberg, Presseservice [www.um.baden-wuerttemberg.de]
- Asbestkatalog Arbeitshygieneinspektion des Rates des Bezirkes Schwerin, 1981
- Baasch, Helga; Paap, Helga; Rietz, Andreas: Sanierungsgrundlagen Plattenbau - Wohnwertverbesserung durch Grundrissveränderungen, Fraunhofer IRB Verlag, 1999
- Back, Eduard: Asbest als Werkstoff, Medienseminar Asbest, 3. November 2005 in Zürich

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Umweltberatung

Bertram, Heinz-Ulrich: Aktueller Stand der Überarbeitung der LAGA Mitteilung 20, Hannover, 6. Nov. 2003 [www.laga-online.de]

BKI – Baukostenkatalog 2006, Teil 2, Statistische Kostenwerte für Bauelemente, Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern, Stuttgart, 2006

Bonner, Andrea: Schadstoffe in Gebäuden, BG Bau, Saarbrücken, Mai 2008, PP-Präsentation

Brundtland-Report: Unsere gemeinsame Zukunft (Our common Future), Weltkommission für Umwelt und Entwicklung, 1987

Clausnitzer, Klaus-Dieter; Imann, Christian; Kopiske, Gerhard: Grundlagen der Einsatzmöglichkeiten und –hemmnisse einer Lüftungsampel, Teilbericht 1, Verbundprojekt: Energetische Verbesserung der Bausubstanz gefördert durch Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Bremen, Juli 2003

Cuperus, Geert: Country reports, status of recycling within Europa, Vortrag, F.I.R. Interforum 2007 in Amsterdam

Czyganowsky, Jan; Reinfeld, Corinna: Nachweisführung zur Standsicherheit unter Einsatz von gebrauchten Betonelementen, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, internes Arbeitspapier, Cottbus, 2006 (unveröffentlicht)

Dahms, Karla: Morinol in Fugen der DDR-Fertigteilebauten, Probleme bei der Fugeninstandsetzung, in: Asbestkongress 1994, Asbest und künstliche Mineralfasern, 21./22. Februar 1994 im Rahmen der UTECH Berlin, S. 53 - 66

Datenblätter für Bauabfälle, Rheinland Pfalz, Datenblatt Nr. 31, Stand 01.10.2003.

Dehoust, Günter; Küppers, Peter; Gebhardt, Peter; Rheinberger, Ulrike; Hermann, Andreas: Aufkommen, Qualität und Verbleib mineralischer Abfälle – Endbericht, Öko-Institut e.V. – Institut für angewandte Ökologie, Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), Darmstadt, Mai 2008

DGB Technologieberatung e. V. ARBUS (Hrsg.): Gefahrstoff Asbest – Ein Ratgeber für Betriebs- und Personalräte, TÜV Thüringen / Beratungsstelle Asbestsanierung, Rudisleben, 1995

Ehlers, Benjamin: Rechtliche Aspekte der Wiederverwendung, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design“ Teil 2, Angelika Mettke (Hrsg.), BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2007, S. 203 - 205

Eisentraut, Wolf Rüdiger: Plattenbausiedlungen - Nutzung der Substanz und nachhaltige Umgestaltung, in: Beton- und Stahlbetonbau 96, Juli 2001, S. 515 - 519

Englert, Klaus; Grauvogel, Josef; Katzenbach, Rolf: DIN 18299 Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art, in: Beck'scher VOB-Kommentar, Verdingungsordnung für Bauleistungen Teil C, Verlage C.H. Beck und Beuth, München – Berlin, 2003, S. 159 ff.

Entsorgungsanlagen in Brandenburg / Berlin für den Abfall „Teerhaltige Dachpappenabfälle“, SBB - Sonderabfallgesellschaft Brandenburg / Berlin mbH (Hrsg.), Stand 23.10.2008

Eyerer, Peter; Reinhardt, Hans-Wolf: Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden – Wege einer ganzheitlichen Bilanzierung, Birkhäuser-Verlag, 2000

Falbe, Jürgen; Regitz, Manfred (Hrsg.): Römpf Chemie Lexikon, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, Bd. 6, 9 erw. und neu bearb. Auflage, 1995

Forschungsinstitut für Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (BGFA): DNA-Schädigung durch Benzo(a)pyren, BGFA-Info 3/2000, Forschungsstelle für Energiewirtschaft

Frisch, Klaus-Ruthard: Aufbereitung und Verwertung von mineralischen Bauabfällen, in: Abbrucharbeiten, Jürgen Lippok / Dietrich Korth (Hrsg.), 2. aktualisierte und erweiterte Ausgabe, Deutscher Abbruchverband e.V., Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co.KG, Köln, 2007, S. 438 - 445

Frisch, Klaus-Ruthard; Kötterheinrich, Rainer; Mettke, Angelika; Müller, Engelbrecht; Schrenk, Volker; Pitsch, Rudolf: Kleines Flächenrecycling, DWA-Merkblatt (in Bearbeitung, vorauss. Veröffentlichung II/2009)

Fritsch, Edwin: Errichtung einer Anlage zur Verwertung von Mineralfaserstoffen als Porosierungsmittel in der Ziegelindustrie, Abschlussbericht, Aktenzeichen UM – 001194, Wool.rec. GmbH, im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), November 2003

GaBiE - Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen, Teil 2 Baustoffe, FfB - Forschungsstelle der Energiewirtschaft, München, 1999

GEMIS – Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme, Version 4.5, Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V. (Hrsg.), Darmstadt / Freiburg / Berlin, 2008

Gottschling, Dietmar: Rückbau unter bewohnten Bedingungen sicher und wirtschaftlich bewältigen am Fallbeispiel Meerane – aus Sicht der Baurealisierung, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design“, Teil 2, Angelika Mettke (Hrsg.), BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2008, S. 61 - 63

Graubner, Carl-Alexander; Huske, Katja: Nachhaltigkeit im Bauwesen, Grundlagen – Instrumente – Beispiele, Verlag Ernst & Sohn, 2003

Grobecker, Claire; Krack-Rohberg, Elle: Auszug aus dem Datenreport 2008, Bevölkerung, Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hrsg.)

Grosch, Volker; Pöthig, Steffen: Wärmeschutz von Standardkonstruktionen des Wohnbautyps P2, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, LS Altlasten, 2002

Hauer, Bruno; Ramolla, Stefanie et. al.: Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau – Teilprojekt B1, Hrsg. DAfStb, Schlussberichte zur ersten Phase des DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“, Heft 572, 2007, S. 131 - 221

Heinz, Detlef; Schubert, Jürgen: Nachhaltige Verwertung von Betonbrechsand als Betonzusatzstoff, Schlussbericht F250, Nr. F 10013-03, 2006

Helm, Monika: Qualitätsanforderungen im Baustoffrecycling, in: Recycling von Baustoffen, Bernd Bilitewski (Hrsg.), EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin, 1993, S. 281 – 286

Hertel, Claudia: Prüfung des Brandverhaltens von Spann- und Stahlbetondeckenplatten zur Ermittlung der Deckenunterseite, Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für Bauwesen (MFPA) Leipzig GmbH, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, LS Altlasten, Leipzig, April 2003.

Hesse, Jürgen: Erfolge und Probleme des Stadtumbaus am Beispiel Kräutersiedlung Dresden-Gorbitz, Beitrag in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Angelika Mettke (Hrsg.), BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2005, S. 67

Heyer, Dirk; Schmutterer, Christian: Einführung in das DWA-Thema „Dichtungssysteme in Deichen“, in: Tagungsband DWA-Seminar „Flussdeiche – Bemessung, Dichtungssystem und Unterhaltung“, Fulda, Mai 2007, S. 3

Hiese, Wolfram (Hrsg.): Baustoffkenntnis, Werner Verlag, 15. Auflage, 2003

Hlawatsch, Frank; Berger, Michael; Schlütter, Frank; Kropp, Jörg: Autoklaves Härtungspotenzial und hydrothermale Reaktionsprozesse von Betonbrechsand, in: Tagungsbericht – Band 2, 16. Internationale Baustofftagung, 20.-23.09.2006 in Weimar

Huré, Philippe: Erkrankungen der Atemwege stehen in Verbindung zu Produkten wie Asbest: Reichen die präventiven Maßnahmen aus?, 28. Generalversammlung der IVSS (Internationale Vereinigung für soziale Sicherheit), Beijing, 12.-18. September 2004

IEMB: Leitfaden für die Instandsetzung und Modernisierung von Wohngebäuden in der Plattenbauweise – Blockbauart 0,8 t/ - Blockbauart 1,1 t/ -Typenserie P2, 5 t, Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.), 1992/93

Informationen rund um die Entsorgung von bituminösen und teerhaltigen Dachbahnen, SAM (Sonderabfall-Management-Gesellschaft Rheinland-Pfalz mbH) aktuell, 7. Jahrgang Nr. 5/2008

Infozentrum UmweltWissen Asbest, Bayerisches Landesamt für Umwelt, 12/2007

Ivanov, Evgeny: Vermarktung gebrauchter Stahlbetonelemente im Raum St. Petersburg, Studienarbeit, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2007 (unveröffentlicht)

Jackisch, Reinhard: Rechnerischer und messtechnischer Nachweis der Luft- und Trittschalldämmung von Standardkonstruktionen der Wohnungsbauserie P2, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, LS Altlasten, Cottbus, 2002

Jahresbericht der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), 2004

Janorschke, Barbara; Rebel, Birgit: Rückbau unter bewohnten Bedingungen - Erschließung von Einsparpotenzialen und Präferierung sicherheitstechnischer Anforderungen bei Rückbaumaßnahmen von Wohngebäuden unter bewohnten Bedingungen, Abschlussbericht, gefördert durch das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Institut für Fertigerteiltechnik und Fertigbau Weimar e.V. (iff Weimar), Weimar, 2008/2009

Jeske, Udo; Buchgeister, Jens; Schebek, Liselotte; Weil, Marcel: Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung – eine Ökobilanz. In: NACHRICHTEN – Forschungszentrum Karlsruhe, Jahrgang 36, 4/2004

Jordan-Gerkens, Anke: Entsorgung von Asbestabfällen durch mechanische Faserzerstörung, Cuvellier Verlag Göttingen, 2005

Jovanovic, Ivan: Stand der Behandlung und Entsorgung asbesthaltiger Reststoffe 1994, Projekt: Schadstoff- und abfallarme Verfahren, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, KfK 5397, September 1994

Justen, Hans-Peter; Strübel, Günter: Verwendungskonzepte für thermische Reaktionsprodukte asbesthaltiger Massen, Oberhessische Naturwissenschaftliche Zeitschrift, Band 60, 2000

Kania, Gregor: Statistische Auswertung der ermittelten Ergebnisse von Untersuchungen zur Betondruckfestigkeit, Karbonatisierungstiefe und Betondeckung an gebrauchten Betonfertigteilen, Studienarbeit, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2006

Kania, Gregor: Wiederverwendung gebrauchter großformatiger Betonfertigteile im Deichbau und bei der Deichsanierung, Diplomarbeit, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Juli 2008

Kerkhoff, Beatrix; Siebel, Eberhard: Eigenschaften von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen, in: Betontechnische Berichte, Hrsg. VDZ Deutsche Zementindustrie, Ausgabe 2003.

Kerschberger, Alfred: Energetischer Umbau von Plattenbauten – Deutschland, Osteuropa, Russland, China, Toblacher Gespräche 2005: Bauen für die Zukunft, 22.09.–24.09.2005

Klug, Markus; Stettinisch, Markus; Henzel, Harald et.al.: Handlungsanleitung für den Umgang mit teerhaltigen Materialien im Hochbau – PAK-Handlungsanleitung, LAGetSi - Landesamt für Arbeitsschutz, Gesundheitsschutz und technische Sicherheit Berlin (Hrsg.), 1.2 überarbeitete Neuauflage, November 2007

Krass, Klaus; Brüggemann, Michael; Görener, Ersun: Anfall, Aufbereitung und Verwertung von Recycling-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten im Wirtschaftsjahr 2001 – Teil 1: Recycling-Baustoffe, in: Straße und Autobahn, Heft 4, S. 193 - 202

Kurkowski, Harald: Einsatz von Recycling-Baustoffen im Garten und Landschaftsbau [www.uni-weimar.de/Bauing/aufber/Professur/RC05]

Lau, Jens-Jürgen: Schnellerkennung – Schadstoffe in Bauschutt und Böden – schnell erkennen und messen – PAK, Sulfat, MKW und Asbest, Seminarunterlage, Dezember 2008

Ledererová, Miriam; Grüner, Karol: Optimization of the technology for recycling concrete materials (Optimierung der Technologie zum Betonrecycling), in: Slovak journal of civil engineering, Bratislava, 2005, S. 29 - 40

Leitzke, Claus: Rechtliche Betrachtung von Rückbauprojekten, Gutachten im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, LS Altlasten, Cottbus, 2001

Leydolph, Barbara; Müller, Anette; Reimann, Marco; Schulze, Reinhard: Entwicklung eines neuartigen Verfahrens zum umweltgerechten Behandeln und Verwerten kanzerogener Mineralwolle auf Basis der Multi-Mode-Mikrowellentechnologie, DBU AZ 24946-23, 2008

Liebmann, Heike: Stadtumbau Ost: Umdenken erforderlich [www.schrumpfende-stadt.de/magazin/0402/Liebmann.htm]

LinoDiagnostic: PAK, PAK-Messungen [http://linoag.de/mess_pak.html]

Lippok, Jürgen; Korth, Dietrich: Abbrucharbeiten Grundlagen, Vorbereitung, Durchführung, 2. aktualisierte und erweiterte Ausgabe, Deutscher Abbruchverband e.V., Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co.KG, Köln, 2007

Living Planet Report 2008, WWF et.al. (Hrsg.) [www.wwf.de]

Maes, Roland: Neuere Entwicklungen im Fertigteilbau in den Beneluxländern, in: Betonwerk und Fertigerteiltechnik, Fertigteilbauforum Heft 14/1984, S. 6 - 8

Mettke Angelika: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, Umweltwissenschaften Band 5, Eberhard Blottner Verlag, Taunusstein, 1995

Mettke, Angelika (Hrsg.): Elementekatalog, Übersicht: Elementesortiment des Typs P2, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2003

Mettke, Angelika (Hrsg.): Elementekatalog, Übersicht: Elementesortiment des Typs WBS 70 am Beispiel Gebäudetyp WBS 70/11, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2007

Mettke, Angelika (Hrsg.): Anwenderkatalog I – Konzeptionen für (Wieder-)Neubauten, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2001

Mettke, Angelika (Hrsg.): Anwenderkatalog II - Plattenumbauten, Wieder- und Weiterverwendung, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2003

Mettke, Angelika (Hrsg.): Rahmentechnologie, Rückbau-/Demontageverhalten Plattenbauten – am Beispiel der Typenserie P2, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2004

Mettke, Angelika: Chancen und Potenziale baulicher Ressourcen, Vortrag auf dem Workshop des Umweltbundesamtes (UBA) „Demografischer Wandel – eine Herausforderung für die Abfallwirtschaft?“, 14.11.2007 in Dessau

Mettke, Angelika: Die Verwendung von rückgebauten Plattenbauelementen aus Norddeutschland in Russland – Anforderungen und Chancen, Vortragsunterlagen, 12. Fachtagung „Spannungsfeld Abbruch – Preise, Nachträge, Qualität, Vertrauen“, 29.05.2008 in Rostock

Mettke, Angelika: Nachnutzungsmöglichkeiten gebrauchter Betonbauteile, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Angelika Mettke (Hrsg.), BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, 2005, S. 127 - 144

Mettke, Angelika: Qualitätsmerkmale gebrauchter Betonelemente – Potenziale und Facetten der Nachnutzung, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design“, Teil 2, Angelika Mettke (Hrsg.), BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2008, S. 163 - 202

Mettke, Angelika: Rückbau von Plattenbauten – Wieder- und Weiterverwendbarkeit gebrauchter Betonelemente, in: Stahlbetonplatten – Neue Aspekte zur Bemessung, Konstruktion und Bauausführung, Klaus Holschemacher (Hrsg.), Bauwerk-Verlag, Berlin, 2005, S. 61 - 88

Mettke, Angelika: Rückbauen statt Abreißen, in: BaustoffRecycling + Deponietechnik, 8/2003, S. 43 - 46

Mettke, Angelika: Stadtumbau durch Rückbau von Plattenbauten und (Wieder-)Neubau, Vortragsunterlagen, Abbruchtagung des Deutschen Abbruchverbandes, 21.09.2001 in Travemünde

Mettke, Angelika: Wieder- und Weiterverwendung von gebrauchten Betonfertigteilen, in: Beton- und Fertigteiljahrbuch 2003, 51. Ausgabe, Bertelsmann Springer Bauverlag, S. 70 - 82

Mettke, Angelika; Doll, Manuela; Lanzke, Cynthia: Marktanalyse zu Annahmegebühren von Bauschutt und Stahlbetonbruch in den neuen Bundesländern, im Auftrag der BUL Brandenburg, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2003

Mettke, Angelika; et.al.: Schlussbericht zum Forschungsvorhaben „Rückbau industrieller Bausubstanz – Großformatige Betonelemente im ökologischen Kreislauf“, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, Januar 2008;

Teil 0: Mettke, Angelika; Heyn, Sören: Zielstellung und Zusammenfassung der wissenschaftlich-technischen Ergebnisse des Forschungsvorhabens,

Teil 1: Mettke, Angelika; Sören Heyn; Asmus, Stefan; Thomas, Cynthia: Krangeführter Rückbau,

Teil 2: Mettke, Angelika; Sören Heyn; Thomas, Cynthia: Wieder- und Weiterverwendung großformatiger Betonbauteile,

Teil 3: Mettke, Angelika; Schleinitz, Hardy: Sozialwissenschaftliche Begleitforschung im Stadtumbau

Mettke, Angelika; Heyn, Sören: Deichbau – Nutzung ausgebauter großformatiger Betonelemente aus dem Wohnungsbau für den Hochwasserschutz, Schlussbericht Forschungsvorhaben, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, April 2009

Mettke, Angelika; Heyn, Sören: Ergebnisse der Untersuchungen zum Bauzustand der zwischengelagerten Elemente für den Bau des Vereinshauses Gröditz 1911 e.V., Auswertungsbericht, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2005

Mettke, Angelika; Heyn, Sören; Asmus, Stefan, Evgeny Ivanov: Wiederverwendung von Plattenbauteilen in Osteuropa - Wissenschaftliche Vorbereitung und Planung des Rückbaus von Plattenbauten und der Wiederverwendung geeigneter Plattenbauteile in Tschechien, Endbericht - Bearbeitungsphase I, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, Mai 2008

Mettke, Angelika; Lanzke, Cynthia; Baudisch, Ines; Kraus, Alexander: Studie Abbruch von Plattenbauten – Umweltgerechte Demontage und Entsorgung von kamilit- und teerpappenbehafteten Baustoffen bei Abbruch und/oder Sanierung von Plattenbauten, im Auftrag des Verbandes für Abbruch und umweltgerechte Entsorgung in Mecklenburg-Vorpommern e.V., BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2003

Mettke, Angelika; Lassan, Bärbel; Britze, Mathias: Schadensbilder von demontierten Betonfertigteilen, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2004 (unveröffentlicht)

Mettke, Angelika; Schuster, Cornelia; Zelöschke, Jens-Christian et.al.: Wiederverwendung von Gebäuden und Gebäudeteilen, FuE-Vorhaben im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Langfassung 1998

Mettke, Angelika; Thomas, Cynthia: Verallgemeinerbare Ergebnisse zum Demontageprozess verschiedener industrieller Bautypen, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Angelika Mettke (Hrsg.), BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2005, S. 91 - 103

Mettke, Angelika; Thomas, Cynthia: Wiederverwendung von Gebäudeteilen, Materialien zur Abfallwirtschaft 1999, im Auftrag des Sächsisches Landesamtes für Umwelt und Geologie im Freistaat Sachsen (Hrsg.), BTU Cottbus, Lehrstuhl Baustoff-Neuwerttechnik, Lößnitz-Druck GmbH, 1999

Moser, Franz: Kreislaufwirtschaft und nachhaltige Entwicklung, 1996, in: Produktions- und produktintegrierter Umweltschutz, Handbuch des Umweltschutzes und der Umwelttechnik, Band 2, Heinz Brauer (Hrsg.), Berlin u.a., 1996, S. 1059 ff.

Motzko, Christoph; Klingenberger, Jörg: Kalkulation kontrollierter Abbrucharbeiten – Ausgewählte Schwachstellen und Empfehlungen aus baubetrieblicher Sicht, Aufsatz in: Tiefbau 1/2004, S. 22 - 28

Müller, Anette: Aufbereiten und Verwerten von Bauabfällen – aktueller Stand und Ausblick, Recyclingtagung, Weimar, 2003 [www.uni-weimar.de/Bauing/aufber/Professur/Veranstaltung.html]

Müller, Anette: Einsatz von Primär- und Sekundär-/Recyclingmaterial im Hochbau; Vortrag 1. Klausur Forschungsbericht des Umweltbundesamtes: „Steigerung von Akzeptanz und Einsatz mineralischer Sekundärrohstoffe“ am 22./23.05.2007 in Potsdam

Müller, Anette: Recycelte Baustoffe und ihre Verwendung von RC-Material in hochwertigen Baustoffprodukten, in: Tagungsband Innovationsforum: Kooperationsverbund Baustoff – Nachhaltige Produkt- und Technologieentwicklung, Nordhausen, 23./24.11.2006

Müller, Anette; Seifert, Gabi: Verwertung durch Feinmahlung: RC-Mehle für selbstverdichtende Betone und selbsterhärtende Tragschichten, in: Tagungsunterlagen Fachtagung „Recycling '07 und Mitteldeutscher Baustoff-Recycling Tag“, Weimar

Nachhaltiges Bauen und Wohnen – Ein Bedürfnisfeld für die Zukunft gestalten, Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau, November 2008

Nierobis, Lars: Dämmstoff: Mineralfasern – Mineralwolle: Glaswolle, Steinwolle und Schlackenwolle, 2003 [www.waermedaemmstoffe.com/htm/mineralwolle.htm]

Notter, Harald: Konsequenzen aus dem „Tongrubenurteil“, PP-Präsentation [www.bmu.de]

Oswald, Rainer et.al.: Wohnbauten in Fertigteilbauweise in den neuen Bundesländern – Bauformen und Konstruktionsmerkmale, Aachener Institut für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik Gemeinnützige GmbH, Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn, 1992

Otto, Matthias: Asbest, Dokumentations- und Informationsstelle für Umweltfragen (DISU) Osnabrück
[www.gesundheitsamt.de/alle/umwelt/chemie/fasern/asb/uebb.htm]

Panzer, Julianna; Wollgam, Helrun: Untersuchungsbericht zum Säurewiderstand der eingesetzten Bauteile im Deichbau, FMFA BTU Cottbus, im Auftrag der FG Bauliches Recycling, LS Altlasten, BTU Cottbus, April 2008

Pfeiffer, Ulrich; Simons, Harald; Porsch, Lucas: Wohnungswirtschaftlicher Strukturwandel in den neuen Bundesländern, Bericht der Kommission, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, November 2000

Primm, Ingolf: Rückbau unter bewohnten Bedingungen sicher und wirtschaftlich bewältigen – Vorbereitung, Handlungsoptionen, Medienversorgung – Fallbeispiel Meerane, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design“ Teil 2, Angelika Mettke (Hrsg.), BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2008, S. 47 - 59

PROBAS – Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente
[www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php]

Prüfbericht - Auswertung der Untersuchungen an den verwendeten Deichbaumaterialien, BTU Cottbus, LS für Bodenmechanik und Grundbau, im Auftrag der FG Bauliches Recycling, LS Altlasten

Prüfbericht – Bestimmung der Flüssigkeitspermeabilität von Betonelementen, IBeWa Wilsnack & Partner, Freiberg, im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, LS Altlasten, Dezember 2004

Prüfbericht - Prüfung des Frost-Tau-Widerstandes von Beton nach dem CF- und dem CIF-Verfahren, Forschungs- und Materialprüfanstalt (FMFA), FG Betontechnologie an der BTU Cottbus, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, LS Altlasten, November 2005

Reinhardt, Hans Wolf: Demontabel Bauen mit Beton, in: Betonwerk und Fertigteiltechnik, Heft 5/1985, S. 300 - 305

Reuschel, Mathias: Gebäudediagnose aus bauphysikalischer Sicht. Energieeffiziente Gebäudesanierung, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Angelika Mettke (Hrsg.), BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2005, S. 111 - 117

Rietdorf, Werner; Haller, Christoph; Liebmann, Heike: Lläuft die Platte leer? – Möglichkeiten und Grenzen von Strategien zur Leerstandsbeekämpfung in Großsiedlungen, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hrsg.), Berlin, 2001

Roos, Frank: Ein Beitrag zur Bemessung von Beton mit Zuschlag aus rezyklierter Gesteinskörnung nach DIN 1045-1, in: Berichte aus dem Konstruktiven Ingenieurbau, TU München 02/2002

Rosen, Dieter: Eluatuntersuchungen am Ziegelsplitt, Vortrag Fachgespräch „Geringfügigkeitsschwellenwert Vanadium“ am 11.12.2008 im Umweltbundesamt Berlin

Rötgers, Dagmar: Giftstoffe und Belastungen beim Bauen im Bestand, Fa. Smolczyk & Partner (S & P) GmbH, Stuttgart, PP-Präsentation

Schadstoffberatung Tübingen, 10.05.2006 [www.schadstoffberatung.de/asbest.htm]

Schäfer, Carsten: Aktuelle Qualitäten von Recycling-Baustoffen in Baden-Württemberg, Vortrag 11. Baustoff-Recycling-Tag am 08.10.2008 in Filderstadt

Schießl, Peter; Stengel, Thorsten: Nachhaltige Kreislaufführung mineralischer Baustoffe, PP-Präsentation anlässlich Fachgespräch Ökobau, 10.03.2008

Schlegl, Rainer: Erarbeitung eines Verfahrens zur stofflichen Verwertung von zementgebundenen Asbestprodukten in Drehrohröfen für die Zementindustrie, Abschlussbericht, gefördert vom BMBF, Weimar, Institut für Baustoff- und Umweltschutz-Technologie GmbH (IBU-tec), 1999

Schmidt-Bleek, Friedrich: Das MIPS-Konzept – Weniger Naturverbrauch, mehr Lebensqualität durch Faktor 10, Droemer-Knaur-Verlag, München, 1998

Schmiedehausen, Rudolf: Auswertung der rechnerischen mit den experimentell ermittelten Ergebnissen zur Trag- und Nutzungsfähigkeit von Spannbetondeckenplatten der WBS 70-Serie, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, LS Altlasten, Cottbus, Dezember 2003

Schmiedehausen, Rudolf: Rechnerische Nachweise für ausgewählte Dachplatten, Deckenplatten und Wandfertigteile von Wohngebäuden des Typs PN 36-NO, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, LS Altlasten, Cottbus, 2001

Schmiedehausen, Rudolf: Rechnerische Nachweise zur Trag- und Nutzungsfähigkeit ausgewählter Deckenplatten und Wände von Wohngebäuden der Typenserie P2, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, LS Altlasten, Cottbus, September 2001

Schmiedehausen, Rudolf: Rechnerische und experimentelle Untersuchungen für Spannbetondeckenplatten des P2-Wohnungbaus, Elemente-Nr. 22006, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, LS Altlasten, Cottbus, 08.08.2006

Schmiedehausen, Rudolf: Rechnerische und experimentelle Untersuchungen für Stahlbetondeckenplatten des P2-Wohnungsbaus, El.-Nr. 21120 und 21121, Prüfbericht im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, LS Altlasten, Cottbus, 02.10.2006

Schmiedehausen, Rudolf: Statische Berechnung Streifenfundament für Innendichtung, im Auftrag der FG Bauliches Recycling, BTU Cottbus, LS Altlasten, im Rahmen des Forschungsvorhabens „Pro Altbeton im Hochwasserschutz“, Cottbus, 05.09.2006

Schmiedehausen, Rudolf: Was sind gebrauchte Betonfertigteile eigentlich heute noch wert?, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Angelika Mettke (Hrsg.), BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2005, S. 145 - 151

Schulz, Ingo: Eigenschaften von RC-Baustoffen – Stand der Aufbereitungstechnik und Untersuchungsverfahren, Vortrag auf dem BMU-Workshop, 13./14.02.2006 in Bonn

Schulz, Ingo: Zukünftige Entsorgung von mineralischen Abfällen, Vortrag 10. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, 5.-7. Februar 2007

Schulze, Dieter: Wohnbauten in Fertigteilbauweise (Baujahre 1958-1990) - Übersicht, IEMB - Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. (Hrsg.), 2. Auflage, IRB Verlag Stuttgart, 1996

Silbe, Katja: Wirtschaftlichkeit kontrollierter Rückbauarbeiten, Dissertation, TU Darmstadt, 1999

SirAdos – Baudaten für Kostenplanung und Ausschreibung, WEKA MEDIA GmbH, Kissing

Speck, Vivien: Verwertung von mineralischen Abfällen – die Baustoffrecyclingindustrie zwischen Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit, Studienarbeit, BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2006 (unveröffentlicht)

Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Destatis), Auszug aus Wirtschaft und Statistik, 1/2008

Statistisches Bundesamtes, Baugenehmigungen/Baufertigstellungen, Lange Reihen 2007 (endgültige Daten), Wiesbaden, 2008

Stengel, Thorsten; Schießl, Peter: Ressourcenschonung und Umweltentlastung durch den Einsatz von Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung am Europäischen Patentamt München, Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 11, 2007

Teer- / bitumenhaltige Dachbahnen, Abfallratgeber, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Juni 2007

Thomas Cynthia; Birl, Andreas: Stoff- und Energieflüsse bei der Aufbereitung mineralischer Baurestoffe, Studienarbeit, BTU Cottbus, LS Baustoff – Neuwerttechnik, 1995 (unveröffentlicht)

Uhl, Markus: Bauen in und mit dem Bestand „Vereinshaus Fußballverein Gröditz – Metamorphose der Platte“, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Angelika Mettke (Hrsg.), BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, Cottbus, 2005, S. 161 - 166

Umgang mit Mineralwolle-Dämmstoffe (Glas-, Steinwolle), Handlungsanleitung, Fachvereinigung Mineralfaserindustrie e. V. (Hrsg.), Deutscher Abbruchverband e. V. et.al., 2000

Universität Lüneburg, Fakultät Umwelt und Technik, Labor für Wasser, Abwasser, Abfallstoffe: PAK; [www.campus-sudenburg.de/einrichtungen/labore/Chemie/PAK-DIN38414-S23.pdf]

Unruh, Hans-Peter; Nagora, Anja: Rückbau von Plattenbauten – Vorbereitung und Gestaltung der Baustellenprozesse bei De- und Remontagen, Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 2002

Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ (NBB-Forschung) gefördert vom Bundesforschungsministerium, koordiniert durch den Deutschen Ausschuss für Stahlbeton im DIN e. V., Projekt B: Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau; vgl. Schlussberichte zur ersten Phase des DAfStb/BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Nachhaltig Bauen mit Beton“, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich, 2007;

Teilprojekt B1: Hauer, Bruno; Ramolla, Stefanie et. al.: Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau – Teilprojekt B1,

Teilprojekt C: Hegger, Josef; Schneider, Hartwig; Brunk, Marten; Zilch, Konrad et.al.: Ressourcen- und energieeffiziente, adaptive Gebäudekonzepte im Geschossbau

Vogdt, Frank: Bewertung der Nachhaltigkeit von baulichen Maßnahmen, Erstbewertung entsprechend des Leitfadens Nachhaltiges Bauen des Bundesministeriums für Verkehr, Bauen und Wohnungswesen, PP-Präsentation

Wagner, Bertram: Aktualisierung der Schlussfolgerungen des Berichts Maßnahmen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes für den Abbruch und Rückbau von entkernten Plattenbauten [www.arbeitsschutz-sachsen.de/publications/mitteilungshefte/2004]

Wagner, Rüdiger: Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen und an Verfüllungen, in: Tagungsunterlagen 11. Baustoff-Recycling-Tag am 08.10.2008, Filderstadt-Bernhausen

Weil, Marcel; Jeske, Udo: Ökologische Positionsbestimmung von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen, in: Tagungsunterlagen Fachtagung Recycling 2005, Aufbereitung von Baustoffen und Wiederverwertung, am 07.04.2005 in Weimar

Wie aus Glas- und Steinwolle ein kostbarer Rohstoff wird [www.uni-protokolle.de/nachrichten/id/33023;]

Willkomm, Wolfgang; Weber, Helmut: Recyclinggerechtes Konstruieren im Hochbau, Recyclingbaustoffe einsetzen, Weiterverwendung einplanen, RG-Bau, RKW-Verlag, Köln, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1990

Wohnungswirtschaft, Daten und Trends 2008/2009, Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen, Kurzfassung November 2008

Schriftenverzeichnis Alleinautorin

Studien / Qualifizierungsarbeiten

- [1] Mettke, Angelika: Studie zur Herstellung eines wasserdichten Schwerbetons größtmöglicher Festigkeit, Diplomarbeit, Ingenieurhochschule Cottbus, 1977, 133 Seiten
- [2] Mettke, Angelika: Durchführung von Lehrveranstaltungen mit interdisziplinärem Charakter und neuen Lehrmethoden im Experimentierhörsaal, Ingenieurhochschule Cottbus, 1986, 29 Seiten
- [3] Mettke, Angelika: Auswertung der interdisziplinären Lehrveranstaltungen im 8. Semester der Vertiefung Industrie- und Spezialbau, Ingenieurhochschule Cottbus, 1987
- [4] Mettke, Angelika: Erarbeitung von Entscheidungshilfen für die Vorbereitung von Rekonstruktionsmaßnahmen in der Industrie zur Wiederverwendung von Bauelementen und Bauwerksteilen, Dissertation, Hochschule für Bauwesen Cottbus, 13.12.1990

Fachbücher

- [5] Mettke, Angelika: Wiederverwendung von Bauelementen des Fertigteilbaus, Umweltwissenschaften Band 5, Eberhard Blottner Verlag Taunusstein, 1995, ISBN: 3-89367-054-8

Beiträge in Fachbüchern

- [6] Mettke, Angelika: Bautechnologische Grundprozesse Bauarbeiten - Allgemeine Grundlagen der Demontage, Katalog 2.3.1.38-01, Bl. 4.1, 4.2; Hrsg. BMK Kohle und Energie, Dresden, 1990
- [7] Mettke, Angelika: Aufarbeitung und Wiederverwendung von Bauelementen und Bauwerksteilen, in: „Entsorgung 2000 - Recycling von Baureststoffen und Industrieflächen – Leitfaden für Kommunen, Wirtschaft, Politik“, Herausgeber: Zeidler, D.; Verlag Bonner Energie – Report, 1993, S. 92-107
- [8] Mettke, Angelika: Wieder- und Weiterverwendung von gebrauchten Betonfertigteilen, in: Beton + Fertigteil – Jahrbuch 2003, S. 70-82
- [9] Mettke, Angelika: Nachnutzungsmöglichkeiten rückgebauter Betonelemente / Wieder- und Weiterverwendungen, in: „Handbuch Abbrucharbeiten - Grundlagen, Vorbereitungen, Durchführung“, 2004, ISBN 3-481-02031-7, S. 387-393
- [10] Mettke, Angelika: Rückbau von Plattenbauten –Wieder- und Weiterverwendbarkeit gebrauchter Betonelemente, in: „Stahlbetonplatten-Neue Aspekte zur Bemessung, Konstruktion und Bauausführung“, Hrsg. Holschemacher, Klaus, Bauwerke Verlag GmbH, Berlin, 2005, ISBN 3-89932-093-X; S. 61-88
- [11] Mettke, Angelika: Nachnutzungsmöglichkeiten rückgebauter Betonelemente – Wieder- und Weiterverwendungen, in: „Handbuch Abbrucharbeiten“, 2. Auflage, 2007“, ISBN 978-3-481-02417-8, S. 433-438

Aufsätze in Fachzeitschriften

- [12] Mettke, Angelika: Wiederverwendung von Bauelementen und Bauwerksteilen aus Beton, in: Baustoffrecycling und Deponietechnik, Heft 6/1992, S. 9-13
- [13] Mettke, Angelika: Anforderungen an multifunktionale Baukonstruktionen (Auszug), in: Hochschul-Umwelt-Info des Infodienstes der Bundeskoordination Studentischer Ökologiearbeit e. V., 02/1997, S. 62-77
- [14] Mettke, Angelika: Verwertung von gemischten Bau- und Abbruchabfällen, in: ATV-Schriftenreihe 11 „Gemischte Bau- und Abbruchabfälle“, 1998, S. 65-69, S. 80-95
- [15] Mettke, Angelika: Bausubstanzerhaltung durch Rückbau und Recycling, in: Ratgeber Abbruch und Recycling, Stein-Verlag Baden-Baden GmbH, 1999, S. 64-68
- [16] Mettke, Angelika: Wiederverwendung von Bauelementen des Wohnungsgebäudetyps P2, in: Lehrstuhlberichten Baubetrieb und Bauwirtschaft, Heft 7: „Demontage von Plattenbauten und partielle Wiederverwendung der Fertigteile“, BTU Cottbus, 2000, S. 116-127
- [17] Mettke, Angelika: Rückbauen statt Abreißen, in: Baustoff Recycling + Deponietechnik, 08/2003, S. 43-46
- [18] Mettke, Angelika: Die Metamorphosen der Platte, in: Archithese Nr. 2/2003, Schweiz, S. 70-73
- [19] Mettke, Angelika: Alte Platte – Neues Design, in: Tiefbau Nr. 1/2004, S. 29-30
- [20] Mettke, Angelika: Bauen im und mit dem Plattenbaubestand, in: HeinzeBauOffice®-Journal, Sonderausgabe „Bauen im Bestand“, 2004, S. 34-39
- [21] Mettke, Angelika: Alte Platte wieder neu, in: Deutsches Architektenblatt 8/2005
- [22] Mettke, Angelika: Hohe Komplexität – Lösungen für künftiges Wohnen gesucht, in: Ostbau 1/2006, Zeitschrift für Bauwerkserhaltung und Wohnungswirtschaft in den neuen Bundesländern, S. 6-7

Beiträge in Tagungsbänden

- [23] Mettke, Angelika: Wiederverwendung von Bauelementen und Bauwerksteilen an ausgewählten Beispielen, in: Tagungsband des 4. wissenschaftlichen Kolloquiums „Mineralische Sekundärrohstoffe – Bauliches Recycling“, BTU Cottbus, 25./26.09.1991, 6 Seiten
- [24] Mettke, Angelika: Aufarbeitung von Bauelementen im Bauwesen, in: Kompendium der 1. Sitzung des Arbeitskreises Neuwertwirtschaft, Herausgeber: Institut zur Förderung des Umweltschutzes e. V., 1994
- [25] Mettke, Angelika: Wiederverwendung von Bauteilen durch recyclinggerechtes Konstruieren, in: Tagungsband des 8. Aachener Kolloquiums Abfallwirtschaft, 12/1995, S. 10/1 – 10/10

-
- [26] Mettke, Angelika: Bauteilwiederverwendung – Neue Entwicklungen für das bauliche Recycling, in: Tagungsband zur 3. Weimarer Fachtagung über Abfall- und Sekundärstoffwirtschaft, 1995, S. 9/1 – 9/10
- [27] Mettke, Angelika: Umweltrelevante Entwicklungen in der Baustoff-Neuwerttechnik, in: Tagungsband Colloque «Gestion des déchets dans le bâtiment et les Travaux Publics: Region du Rhin Supérieur Développement et contraintes», Colmar, 1995, 11 Seiten
- [28] Mettke, Angelika: Stand der industriellen Entsorgung von Asbest – Anforderungen und Probleme, in: Tagungsbericht Thüringisch – Brandenburgische Fachtagung, Herausgeber: MFPA Weimar, ZIB Berlin, 1996, 28 Seiten
- [29] Mettke, Angelika: Bedingungen und Auswirkungen des Rückbaus von Gebäuden, in: Tagungsband Fachtagung Abbruch, ASCO Berlin, 1996, 8 Seiten
- [30] Mettke, Angelika: Moderne, zukunftsorientierte Entwicklungen zur Abfallverminderung im Hochbau, in: Tagungsband UTECH, Berlin, 1996, S. 43-55
- [31] Mettke, Angelika: Verwertungsmöglichkeiten für Bauschutt, in: Tagungsband zur Veranstaltung „Bau- und Bodenabfälle“, Haus-der-Technik-Seminar des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der TH Aachen, 1997, Essen, 16 Seiten
- [32] Mettke, Angelika: Im Brennpunkt standortbezogener Entwicklungsdiskussion: Techniken, Probleme und Chancen von Abbrüchen, in: Tagungsband zum Workshop des Gemeinde- und Städtebundes Thüringen zur Weiterentwicklung großer Neubaugebiete, Eisenach, 26.11.1998, 8 Seiten
- [33] Mettke, Angelika: Rückbaukonzeptionen in der Wohnungswirtschaft, in: Tagungsband zur Sonderfachtagung „Rückbau von Wohngebäuden industrieller Fertigung in Thüringen“, Gera, 17.02.1999, 7 Seiten
- [34] Mettke, Angelika: Bauteilorientierter Rückbau von Plattenbauten, in: Tagungsband zur Fachtagung Abbruch, Berlin, 26.02.1999, 10 Seiten
- [35] Mettke, Angelika: Wiederverwendung von gebrauchten Bauelementen aus Plattenbauten, in: Tagungsband der 15. Tagung der Mittel-, Ost- und Südosteuropäischen Staaten, Berlin, 19.05.1999, 10 Seiten
- [36] Mettke, Angelika: Bauprodukterhaltung durch Wiederverwendung – Untersuchungen an Fallbeispielen, in: Tagungsband zum Tagesseminar der IfN Anwenderzentrum GmbH Lauchhammer, 23.06.1999
- [37] Mettke, Angelika: Im Brennpunkt standortbezogener Entwicklungsdiskussion: Techniken, Probleme und Chancen von Abbrüchen, in: EXWOST Informationen zur Weiterentwicklung von Großsiedlungen in Thüringen, Heft 2, 1999, S. 15-17, 24 Seiten
- [38] Mettke, Angelika: Lohnt sich der Rückbau und Wiederaufbau einer Halle aus Stahlbetonfertigteilen?, in: Tagungsband zur Fachtagung Abbruch, ASCO Berlin, 03.03.2000, 10 Seiten

-
- [39] Mettke, Angelika: Wiederverwendung von Bauelementen des Wohngebäudetyps P2, in Tagungsband des Kolloquiums „Demontage von Plattenbauten und partielle Wiederverwendung der Fertigteile“, BTU Cottbus, Lehrstuhl Baubetrieb und Bauwirtschaft, 27.04.2000
- [40] Mettke, Angelika: Wiederverwendung von gebrauchten Bauelementen industrieller Fertigung, 7. Fachtagung des iff Weimar e.V., 15./16.11.2000, 2 Seiten
- [41] Mettke, Angelika: Stadtumbau durch Rückbau von Plattenbauten und Wiederneubau, Seminarunterlagen zur Fachtagung der AWUS Wirtschaftsakademie GmbH „Bagger oder Dynamit? Die Zukunft moderner Abbruchtechnologien“, Leipzig, 17.05.2001, 15 Seiten
- [42] Mettke, Angelika: Rückbau, Wieder- und/oder Weiterverwendung statt Abriss, in: Tagungsband der 9. Fachtagung des iff Weimar, 26./27.11.2002
- [43] Mettke, Angelika: Stadtumbau und Bauproduktrecycling – eine Vision?, in: Tagungsband Symposium „Wertstoffwirtschaft- Baustoffrecycling“, 06.12.2002, Lauterbach, 11 Seiten
- [44] Mettke, Angelika: Hochwertiges Recycling im Zuge des Stadtumbaus, in: Tagungsband 2. Berlin – Brandenburgische Baustoff – Recycling Tag auf der 13. SpreeBau Cottbus, 10 Seiten, 03/2003
- [45] Mettke, Angelika: Metamorphose Plattenbau, in: Tagungsband des Darmstädter Nachhaltigkeitssymposiums, Darmstadt, 17./18.07.2003
- [46] Mettke, Angelika: Metamorphose Plattenbau – Up-Cycling, in: Tagungsband Deutsch-Polnischer Experten-Workshop, 12./13.11.2003, Frankfurt Oder
- [47] Mettke, Angelika: Ausgewählte Aspekte zum Rückbau von Plattenbauten, in: Tagungsband zur 10. Fachtagung Abbruch, ASCO Berlin, 03/2004, 7 Seiten
- [48] Mettke, Angelika: Schadstoffe in Plattenbauten, in: Tagungsband Abbruchtagung, Hannover, 17./18.09.2004
- [49] Mettke, Angelika: Technisch-wirtschaftliche Aspekte der Demontage von Plattenbauten und der Sekundärnutzung von Betonbauteilen, in: Tagungsband der 11. Fachtagung des IFF Weimar, 24./25.11.2004, 2 Seiten
- [50] Mettke, Angelika: Nachnutzungsmöglichkeiten gebrauchter Betonelemente, in: Tagungsband „Alte Platte – Neues Design – Die Platte lebt“, Fachtagung an der BTU Cottbus, LS Altlasten, FG Bauliches Recycling, 16./17.02.2005, S. 127-144
- [51] Mettke, Angelika: Metamorphose Plattenbau – Recycling Betonbauteile, in: Kongressband „Reconstruction St. Petersburg 2005“, International Scientific and Practical Conference in St. Petersburg, Russland, 19.-21.10.2005
- [52] Mettke, Angelika: Verwertung mineralischer Abfälle – speziell von Recyclingbaustoffen, in: Tagungsband der DWA-Bundestagung, Osnabrück, 27./28.09.2006

-
- [53] Mettke, Angelika: RC-Betonelemente im Deichbau – ein Beitrag zum Hochwasserschutz unter dem Gesichtspunkt des baulichen Recyclings, in: Tagungsband 3. Erdbaufachtagung, Leipzig, 01.02.2007
- [54] Mettke, Angelika: Ausgewählte Aspekte zum Rückbau industriell errichteter Gebäude, in: Tagungsband Fachtagung „Alte Platte – Neues Design“ Teil 2, BTU Cottbus, Lehrstuhl Altlasten, Fachgruppe Bauliches Recycling, S. 69 - 86, 01.03.2007
- [55] Mettke, Angelika: Qualitätsmerkmale gebrauchter Betonelemente – Potenziale und Facetten der Nachnutzung, in: Tagungsband Fachtagung „Alte Platte – Neues Design“ Teil 2, BTU Cottbus, Lehrstuhl Altlasten, Fachgruppe Bauliches Recycling, S. 169 – 208, 02.03.2007
- [56] Mettke, Angelika: Innovationen im Recyclingbau, in: Tagungsband 40. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, Aachen, 15.03.2007, Seiten 53/1-53/15
- [57] Mettke, Angelika: Chancen und Potenziale baulicher Ressourcen, in: Tagungsband Workshop „Wieviel Demografie verträgt die Abfallwirtschaft?“, Umweltamt Dessau, 14.11.2007
- [58] Mettke, Angelika: Neue Gebäude aus alten Platten, in: Tagungsband zur Fachveranstaltung „Gut erhalten – Die Nutzung gebrauchter Bauteile bei Neubau und Sanierung“ der SBB Sonderabfallgesellschaft Brandenburg/Berlin mbH und bauteilnetz Deutschland, Potsdam, 28.02.2008
- [59] Mettke, Angelika: Nachhaltiges Wirtschaften durch Material- und Produktrecycling – dargestellt am Beispiel industriell errichteter Bausubstanz, in: Tagungsband zum 7. Baustoff-Kolloquium, BTU Cottbus, Lehrstuhl Baustoffe/Bauchemie und FMFA, 06.03.2008
- [60] Mettke, Angelika: Untersuchungsergebnisse und Bewertung zu Staubemissionen bei Abbruch- und Rückbauarbeiten, in: Tagungsband zur Fachtagung „Abbruchvorhaben – Sicher und kompetent planen und durchführen“ des IFF Weimar, 11.03.2008
- [61] Mettke, Angelika: Material- und Produktrecycling im Bauwesen, in: Tagungsband zur internationalen Konferenz „Wiederverwendung von Materialien für Bauzwecke“, organisiert vom Umweltministerium der Slowakischen Republik, der Slowakischen Straßenverwaltung und der Fakultät für Bauwesen der Slowakischen TU Bratislava; 27./28.03.2008, Strbské Pleso, Slowakei, S.25-34
- [62] Mettke, Angelika: Umweltaspekte des Recyclings (Environment aspects of recycling), in: Tagungsband F.I.R. Interforum, 25./26.09.2007, Amsterdam [www.fir-recycling.nl/Deutsch/news.htm]
- [63] Mettke, Angelika: Die Verwendung von rückgebauten Plattenbauelementen aus Nordostdeutschland in Russland – Anforderungen und Chancen, in: Tagungsband zur Fachtagung „Spannungsfeld Abbruch – Preise, Nachträge, Qualität, Vertrauen“, organisiert vom Verband für Abbruch und Entsorgung e.V., 29.05.2008, Rostock

-
- [64] Mettke, Angelika: Types of recycling arising from the demolition of buildings in germany, in Tagungsband zur 14. Internationalen Konferenz "Engineering of environment protection – TOP 2008", Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Mechanical Engineering, June 25-27, 2008; Casta Papiernicka, Slowakei, S. 345-355
- [65] Mettke, Angelika: Recycling mineralischer Abfälle und Produkte in der Bauindustrie, in Tagungsband der Bundestagung Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), 17./18.09.2008, Mannheim
- [66] Mettke, Angelika: Verwendungsgebiete mineralischer RC-Baustoffe unter bautechnischen und ökologischen Aspekten, in Tagungsband zur Konferenz mit internationaler Beteiligung „Materialienwiederverwendung für Bauzwecke“, Bau fakultät der Slowakischen Technischen Universität Bratislava, Umweltministerium der Slowakischen Republik, Slowakische Straßenverwaltung, 12./13.03.2009, Tatranska Lomnica, Slowakei

Gesetz-, Normen- und Richtlinienverzeichnis

Gesetze und Verordnungen

AbfAbIV – Abfallablagerungsverordnung, Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfall vom 20.02.2001(BGBl. I, Seite 305); geändert durch Artikel 2 V vom 24. Juli 2002, BGBl. I, Seite 2807

AVV Baulärm – Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen – vom 19. August 1970

BBodSchG – Bundes-Bodenschutzgesetz, Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten vom 17.03.1998

BBodSchV – Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12.07.1999

Brandenburgische Bauordnung (BbgBO): Bauordnungsrecht, Rechts- und Verwaltungsvorschriften für das Land Brandenburg; Bauplanungsrecht; Textausgabe Werner Pahnhenrich, 2. Auflage, Vieselbach/Erfurt; Potsdam; Deutscher Kommunalverlag Naujoks und Behrendt, 1994

BTR RC-StB 04 Brandenburgische Technische Richtlinien für die Verwertung von RC-Baustoffen im Straßenbau – Herstellung, Prüfung, Auslieferung und Einbau, Ausgabe 2004

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Hinweise zur Anwendung der Anfallverzeichnis-Verordnung (AVV) vom 10. Dezember 2001, BGBl. I S. 3379, zuletzt geändert 24. Juli 2002, BGBl. I S. 2833

ChemG – Chemikaliengesetz, Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen, in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. Juli 2008, BGBl. I, S. 1146

DepV – Deponieverordnung, Verordnung über Deponien und Langzeitlager vom 24. Juli 2002, BGBl. I S. 2807, zuletzt geändert 13. Dez. 2006, BGBl. I S. 2860

DepVerwV – Deponieverwertungsverordnung, Verordnung über die Verwertung von Abfällen auf Deponien über Tage vom 25.07.2005

EfbV – Entsorgungsfachbetriebsverordnung, Verordnung über Entsorgungsfachbetriebe vom 10.09.1996

EnEV – Energieeinsparverordnung für Gebäude, Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, in Kraft seit dem 01.10.2007, Aktualisierung im Herbst 2009

ErsatzbaustoffV - Verordnung zur Regelung des Einbaus von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken und zur Änderung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, Arbeitsentwurf, Stand 13.11.2007, Artikel 1 „Verordnung über den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken (Ersatzbaustoff-Verordnung)

GefStoffV – Gefahrstoffverordnung, Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen vom 23. Dezember 2004, BGBl. I S.3758, in geltender Fassung; am 1. Januar 2005 in Kraft getreten

Gesetz zur Vereinfachung der abfallgerechten Überwachung vom 15. Juli 2006, BGBl.I, Nr. 34, S. 1619

KrW-/AbfG – Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen vom 27. September 1994, BGBl. I S. 2986, in Kraft getreten am 06. Oktober 1996, zuletzt geändert am 22. Dezember 2008

NachwV – Nachweisverordnung, Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen vom 20.10.2006

TaSi – Technische Anleitung Siedlungsabfall. Verwaltungsvorschrift, Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz) vom 14.05.1993, BAnz. Nr. 99a vom 29.05.1993

TgV – Transportgenehmigungsverordnung, Verordnung zur Transportgenehmigung vom 10.09.1996, BGBl. I S. 1411, ber., Inkrafttreten 19.07.2007

TL AG-StB 01 - Technische Lieferbedingungen für Asphaltgranulat, Ausgabe 2001

TL Gestein-StB 04 - Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau, Ausgabe 2004

TL SoB-StB Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau

TrinkWV – Trinkwasserverordnung, Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch vom 21.05.2001, BGBl. I S. 959, geändert am 31. Oktober 2006, BGBl. I S. 2407

Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung – AVV) vom 10.12.2001

Verordnung zur Vereinfachung der abfallrechtlichen Überwachung vom 20. Oktober 2006, BGBl.I, Nr. 48, S. 2298

VwVws - Verwaltungsvorschrift wassergefährdender Stoffe, Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Wasserhaushaltsgesetz über die Einstufung wassergefährdender Stoffe in Wassergefährdungsklassen vom 27. Juli 2005

WHG – Wasserhaushaltsgesetz, Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes vom 19.08.2002, zuletzt geändert 2009

ZTV Asphalt-StB / ARS 9/2005 - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt

ZTV T-StB 95, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau, Fassung 2002

ZTV-SoB zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemitteln im Straßenbau

ZTV-StB 05 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Technische Lieferbedingungen für die einzuhaltenden wasserwirtschaftlichen Gütemerkmale bei der Verwendung von RC-Baustoffen im Straßenbau, Ausgabe 2005

ZTV-W - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau, für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (Leistungsbereich 215), Hrsg: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung Eisenbahnen und Wasserstraßen, Ausgabe 2004

DIN-Regelungen

ATV DIN 18459:2006-10: Abbruch- und Rückbauarbeiten

DIN 1045:1988-07: Beton und Stahlbeton

DIN 1045-1:2001-07: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Bemessung und Konstruktion, Änderung durch DIN 1045-1/A1:2007-05

DIN 1045-2:2001-07: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton-Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1

DIN 1048-2:1991-06: Prüfverfahren für Beton, Festbeton in Bauwerken und Bauteilen

DIN 18007:2005-05: Abbrucharbeiten – Begriffe, Verfahren

DIN 18299:2006-10: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art

DIN 19528:2009-01: Elution von Feststoffen – Perkulationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen

DIN 19529:2009-01: Elution von Feststoffen – Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen Stoffen mit einem Wasser / Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg

DIN 19712:1997-11: Flussdeiche

DIN 38414-Teil 4 (DEV- S4):1984-10: Deutsches Einheitsverfahren zur Untersuchung von Schlamm und Sedimenten; Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser

DIN 4030-1:2008-06: Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase – Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte

DIN 4102-2:1977-09: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen

DIN 4102-4/A1:2004-11: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile; Änderung A1

DIN 4108-2:2003-07: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

DIN 4109:1989-11: Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise

DIN 4226-1:2001-07: Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel, Teil 1: Normale und schwere Gesteinskörnungen

DIN 4226-100:2002-02: Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel, Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen

DIN 4227-1:1988-07: Spannbeton, Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter und voller Vorspannung

DIN EN 12390-8:2001-02: Prüfung von Festbeton, Teil 8: Wassereindringtiefe unter Druck

DIN EN 12504-1:2000-09: Prüfung von Beton in Bauwerken, Teil 1: Bohrkernproben; Herstellung, Untersuchung und Prüfung unter Druck

DIN EN 12504-2:2001-12: Prüfung von Beton in Bauwerken, Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung; Bestimmung der Rückprallzahl

DIN EN 1744-1:2007-09: Prüfverfahren für chemische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 1: Chemische Analyse; Deutsche Fassung prEN 1744-1:2007

DIN EN 206-1:2001-07: Beton, Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Deutsche Fassung EN 206-1: 2000

DIN EN ISO 140:2005-03: Akustik-Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen

DIN EN ISO 14040:2006-10: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen

DIN EN ISO 14044:2006-10: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen

DIN EN ISO 17993, EPA 610:2004–03: Bestimmung von 15 polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen durch Hochleistungs-Flüssigkeitschromatografie (HPLC) mit Fluoreszenzdetektion nach Flüssig-Flüssig-Extraktion

DIN EN ISO 717:2006-11: Akustik-Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und Bauteilen

DIN V 20000-103:2004-04: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 103: Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620:2003-04

DIN V 4084-100 Beiblatt 1:1994-04: Baugrund-, Böschungs- und Gebäudebruchberechnungen – Teil 100 Berechnung nach dem Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten, Berechnungsbeispiele

TGL-Regelungen (DDR)

TGL 0-1045:1973-04: Bauwerke aus Stahlbeton, Projektierung und Ausführung

TGL 10687:1986-09: Schallschutz, Schalldämmung von Bauwerksteilen

TGL 11422:1964-03: Bauwerke und Fertigteile aus Beton und Stahlbeton, Berechnungsgrundlagen, Traglastverfahren

TGL 22 973: Anorganische Brandschutzplatte, Handelsbezeichnung Baufatherm

TGL 24452: Leichtbauplatte „Sokalit“

TGL 29312 + TGL 37478: Anorganische Feuerschutzplatte „Neptunit“

TGL 33403:1980/10: Betonbau, Festigkeits- und Formänderungskennwerte

Technische Regeln für Gefahrstoffe

- TRGS 519 Asbest; Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten, Ausgabe Januar 2007, Änderung März 2007
- TRGS 521 Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit alter Mineralwolle, Ausgabe: Februar 2008
- TRGS 524 Sanierung und Arbeiten in kontaminierten Bereichen, Ausgabe März 1998
- TRGS 551 Teer und andere Pyrolyseprodukte aus organischen Material, Ausgabe: Juli 1999 mit Änderungen und Ergänzungen: BArbBl. Heft 6/2003
- TRGS 900 Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz – Luftgrenzwerte, Ausgabe Januar 2006, zuletzt geändert und ergänzt Juni 2008
- TRGS 905 Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe“, Ausgabe Juli 2005, zuletzt geändert und ergänzt Mai 2008
- TRGS 906 Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV, Ausgabe Juli 2005, zuletzt geändert und ergänzt März 2007

Regelungen, Richtlinien, Leitfäden und Merkblätter

Arbeitsblatt DWA-A 904 – Richtlinie für den ländlichen Wegebau, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Ausgabe 10.2005

Asbest-Richtlinie – Richtlinie für die Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukte in Gebäuden, Fassung vom Januar 1996, MBl.NRW. 1997, S. 1067

Bauproduktenrichtlinie 89/106/EWG, Richtlinie des Rates vom Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte (89/100/EWG), ABLEG Nr. L40,12

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz: Anforderungen an die Verwertung von Recycling-Baustoffen in technischen Bauwerken (RC-Leitfaden), 2005

Berufsgenossenschaftliche Informationen für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (BGI) 5047 Mineralischer Staub, Ausgabe Dezember 2006

BGR 128 Kontaminierte Bereiche, April 1997, aktualisierte Fassung Februar 2006

BRB Richtlinie Recycling-Baustoffe, Bundesvereinigung Recycling-Baustoffe (BRB) e.V. (Hrsg.), Duisburg, März 2006

Dachbegrünungsrichtlinie, Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen, hrsg. von Forschungsanstalt Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL), 2008

DAfStb-Richtlinie: 2007-02: Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktionen im Beton (Alkali-Richtlinie) – Teil 1: Allgemeines, Teil 2: Gesteinskörnungen mit Opalsandstein und Flint, Teil 3: Gebrochene alkaliempfindliche Gesteinskörnungen

DAfStb-Richtlinie: Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN 4226-100, Ausgabe Dezember 2004, Teil 1: Anforderungen an den Beton für die Bemessung nach DIN 1045-1, DAfStb in DIN e. V. (Hrsg.) (Baustoffkreislauf-Richtlinie)

DBV-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung“, Fassung 07/2002, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (Hrsg.), Berlin

EG-Abfallrahmenrichtlinie Nr. 2006/12/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006

EgRL – Entsorgungsgemeinschaftenrichtlinie, Richtlinie für die Tätigkeit und Anerkennung von Entsorgungsgemeinschaften vom 09.09.1996

Handlungsanweisung mit Bewertungsgrundlagen für den Umgang mit künstlichen Mineralfasern (KMF) in Gebäuden der Stadt Nürnberg, aufgestellt von Arbeitsgruppe büg, Oktober 2003

Leitfaden „Nachhaltigkeitsaspekte bei Neu- und Bestandsbauten“, Forschungsverbund BayFORREST, 2006

Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.) im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr-, Bau- und Wohnungswesen, Januar 2001

M VAG - Merkblatt für die Verwertung von Asphaltgranulat 754, FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), 2000

Merkblatt über die Verwendung von industriellen Nebenprodukten im Straßenbau, Teil Wiederverwendung von Baustoffen, Gesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Köln, 1985

Merkblatt zum Rückbau von Plattenbauten mit Kamilit in den Betonaußenwandplatten - Bundesländer Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen, Arbeitsgruppen der Arbeitsministerien der Länder Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen (Hrsg.), April 2005

Merkblatt zur Entsorgung von teerhaltiger Dachpappe, SBB - Sonderabfallgesellschaft Brandenburg / Berlin mbH (Hrsg.); Stand 27. Oktober 2003

Mitteilungen der Länder-Arbeitsgemeinschaft (LAGA): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II: Technische Regeln für die Verwertung 1.2 Bodenmaterial (TR Boden) vom 05.11.2004, Erich Schmidt Verlag (nicht als Mitteilung veröffentlicht)

Mitteilungen der Länder-Arbeitsgemeinschaft (LAGA): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil III Probenahme und Analytik vom 05.11.2004, Erich Schmidt Verlag (nicht als Mitteilung veröffentlicht)

Mitteilungen der Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen - Technische Regeln – Allgemeiner Teil vom 06.11.2003, Erich Schmidt Verlag

Mitteilungen der Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 23: Entsorgung asbesthaltiger Abfälle vom 6. September 1995 in der Fassung vom 20. Februar 2001, Erich Schmidt Verlag

Mitteilungen der Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, Essen, 2004

NePSi: Leitfaden über bewährte Praktiken zum Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer durch gute Handhabung und Verwendung von kristallinem Siliziumdioxid und dieses enthaltener Produkte, Leitfaden über bewährte Praktiken – Quarzfeinstaub (Good Practice Guide), September 2006

Nordrhein-Westfalen: Güteüberwachung von mineralischen Stoffen im Straßen- und Erdbau, 2001

Regelwerke für den Einsatz von Gesteinskörnungen im Straßenbau, FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.)

Richtlinie 1999/77 EG der Kommission vom 26. Juli 1999 zur sechsten Anpassung von Anhang I der Richtlinie 76/769/EWG des Rates vom 27. Juli 1976 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Beschränkungen des Inverkehrsbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe (Asbest), ABI.Nr.L207 vom 06. August 1999

Schießl, Peter; et.al.: Nachhaltigkeitsaspekte bei Neu- und Bestandsbauten, Leitfaden, TU München, 2006

VDI-Richtlinie 2243: 2002-07 Recyclingorientierte Produktentwicklung, VDI-Verlag Düsseldorf

VDI-Richtlinie 3492: Messungen von Innenraumluftverunreinigungen, Messungen von Immissionen, Messen anorganischer faserförmiger Partikel – Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren – Ausgabedatum Okt. 2004

VDI-Richtlinie 3492; Messen von Innenraumluftverunreinigungen, Messen von Immissionen, Beuth Verlag, 2004

VDI-Richtlinie 3866: Bestimmung von Asbest in technischen Produkten, Beuth Verlag, Berlin:

Blatt 1: Grundlagen; Entnahme und Aufbereitung der Proben, Dezember 2000,

Blatt 2: Infrarotspektroskopisches Verfahren, Oktober 2001,

Blatt 4: Phasenkontrastmikroskopisches Verfahren, September 2002,

Blatt 5: Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren, Oktober 2004

VDI-Richtlinie 4100: 1994-09: Schallschutz im Hochbau

VDI-Richtlinie 4600: 1997-06 Kumulierter Energieaufwand – Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden

WBS 70 Bauten in Wandkonstruktion in Montagebauweise, Vorschrift (1977), Schriftenreihe der Bau-forschung, Reihe Wohn- und Gesellschaftsbauten, Reihe 34, Berlin

Zement-Merkblatt Betontechnik B9, Expositionsklassen und besondere Betoneigenschaften, Bauberatung Zement, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (Hrsg.), Köln, Januar 2003

Internetquellen

www.bbr.bund.de	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
www.bmu.de	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
www.bmvbs.de	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
www.campus-suderburg.de	Leuphana Universität Lüneburg, Campus Suderburg
www.daylinet.de	PR Portal für Pressemitteilungen und Pressemeldungen
www.destatis.de	Statistisches Bundesamt Deutschland
www.empirica-institut.de	Empirica-Institut, wirtschafts- und sozialwissenschaftliches Beratungsunternehmen, Berlin/Bonn/Leipzig
www.energiesystem.de	EnergieSystem, Ingenieurbüro für Energieberatung und Gebäudetechnik
www.euroquarz.de	EUROQUARZ-Gruppe, Aufbereitung und Weiterverarbeitung von Quarzsanden und Quarzkiesen
www.fiw-muenchen.de	Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München
www.gdw.de	Bundesverband deutscher Immobilien- und Wohnungsunternehmen (GdW)
www.gisbau.de	Gefahrstoffinformationssystem der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft
www.info-ags.de	Arbeitsgemeinschaft der Sonderabfall-Entsorgungs-Gesellschaften der Länder (AGS)
www.krebsinformationsdienst.de	Deutsches Krebszentrum Krebsinformationsdienst (dkfz.)
www.laga-online.de	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA)
www.lawa.de	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)
www.lfu.bayern.de	Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
www.mogensen.de	Mogensen Allgaier Gruppe, Aufbereitungstechnik
www.schadstoffberatung.de	Schadstoffberatung Tübingen, Raumluft- und Materialanalysen
www.staedtetag.de	Deutscher Städtetag
www.uba.de	Umweltbundesamt (UBA)
www.umweltbundesamt.at	Umweltbundesamt GmbH Österreich
www.wwf.de	World Wide Fund For Nature (WWF), Naturschutzorganisation